

# Landnutzungsinterpretation mit Hilfe farbiger Luftbilder im Unterwallis

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG  
DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE  
vorgelegt der  
PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT II  
DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

von

JÜRG RAINER SCHOEDLER  
aus Schaffhausen und Villigen (Kt. Aargau)

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. H. Haefner



Juris Druck + Verlag Zürich

1973



# Landnutzungsinterpretation mit Hilfe farbiger Luftbilder im Unterwallis

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG  
DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE  
vorgelegt der  
PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT II  
DER UNIVERSITÄT ZÜRICH

von

JÜRG RAINER SCHOEDLER  
aus Schaffhausen und Villigen (Kt. Aargau)

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. H. Haefner



Juris Druck + Verlag Zürich

1973

Lehrbuch der  
mit Hilfe der  
auf



1888

1888



## Vorwort

Meine erste nähere Bekanntschaft mit Problemen der Luftbild-Interpretation habe ich Herrn Prof. Dr. D. Steiner zu verdanken.

Anlass zu dieser Arbeit gab die Eidg. Landestopographie, die sich 1968 anerbote, eine Serie farbiger Luftaufnahmen zu machen. Im Gegensatz zum Schweizerischen Mittelland schien die Obst- und Gartenbaulandschaft des Unterwallis geeignet zu sein, die Reihe der Arbeiten zur Landnutzungsinterpretation am Geographischen Institut der Universität Zürich fortzusetzen.

An dieser Stelle möchte ich den Herren Prof. Dr. H. Boesch und Prof. Dr. H. Haefner herzlich danken, dass sie mir diese Arbeit ermöglicht haben. Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Haefner, unter dessen Leitung sie entstand. Dank schulde ich auch meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und meiner lieben Frau, die mich bei der ganzen Arbeit tatkräftig unterstützte.

Ausserdem gebührt folgenden Personen und Institutionen mein Dank :

- der Eidg. Landestopographie für das hervorragende Bildmaterial,
- dem Vermessungsamt des Kantons Wallis, insbesondere Herrn T. Werlen, für die Ueberlassung des Kartenmaterials,
- dem Photographischen Institut der ETHZ, speziell Herrn Prof. Dr. Berg für die Erlaubnis zur Benützung des Mikrodensitometers, Herrn Dr. Seidel und Herrn R. Gfeller für die Hilfe bei der Arbeit am Mikrodensitometer,
- den Herren Dr. K. Baumberger, F. Schleuniger und P. Theiler für ihre Hilfe bei der Erstellung der Computer-Programme,
- Herrn J. Züllig, Optiker, für seine Hilfe bei der Bearbeitung optischer und photographischer Probleme,
- Herrn J. Bürcher, Obstbaulehrer, der mich bei mehreren Feldbegehungen in die Grundlagen des Obst- und Gartenbaus im Unterwallis einführte
- sowie Herrn W. Jäger für die Durchsicht des Manuskriptes.

Luzern, im Mai 1972

Jürg R. Schoedler



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41507210\\_0051](https://archive.org/details/IA41507210_0051)

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                     | Seite |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einführung und Problemstellung                                   | 7     |
| 1.1 Einsatzmöglichkeiten des Luftbildes                             | 7     |
| 1.2 Problemstellung                                                 | 7     |
| 2. Einige Arbeiten zur quantitativen Erfassung des Luftbildinhalts  | 9     |
| 3. Verwendetes photographisches Material                            | 9     |
| 4. Feldarbeit                                                       | 10    |
| 4.1 Landnutzungstyp im Untersuchungsgebiet                          | 10    |
| 4.1.1 Klima- und Standortfaktoren                                   | 13    |
| 4.1.2 Obstbauliche Intensivkulturen                                 | 14    |
| 4.1.3 Rebbau                                                        | 15    |
| 4.1.4 Beerenkulturen                                                | 15    |
| 4.1.5 Gemüse                                                        | 15    |
| 4.2 Untersuchte Kulturarten                                         | 16    |
| 4.2.1 Baumkulturen                                                  | 16    |
| 4.2.2 Reben                                                         | 18    |
| 4.2.3 Gemüsekulturen                                                | 18    |
| 5. Moderne Lufterkundungssysteme und Interpretationsmethoden        | 19    |
| 5.1 Lufterkundungssysteme                                           | 19    |
| 5.2 Interpretationsmethoden                                         | 19    |
| 6. Analyse des Bildinhalts                                          | 22    |
| 6.1 Grauton                                                         | 22    |
| 6.1.1 Definition                                                    | 22    |
| 6.1.2 Grauton- bzw. schwärzungsbestimmende Faktoren                 | 22    |
| 6.2 Farbton                                                         | 32    |
| 6.2.1 Farbmessung                                                   | 32    |
| 6.2.2 Farbfilm                                                      | 34    |
| 6.2.3 Farbtreue                                                     | 34    |
| 6.3 Textur                                                          | 39    |
| 6.3.1 Definition                                                    | 39    |
| 6.3.2 Texturbeeinflussende Faktoren                                 | 39    |
| 6.3.3 Erfassung der Texturen landwirtschaftlicher Kulturen          | 41    |
| 6.4 Kronenform der Baumkulturen                                     | 46    |
| 6.5 Stereoskopisches Aussehen                                       | 48    |
| 7. Quantitative Erfassung der Dichte im Farb- und Schwarzweiss-Bild | 50    |
| 7.1 Gerät                                                           | 50    |
| 7.2 Arbeitsweise                                                    | 53    |
| 7.3 Quantitative Interpretation mit Hilfe der Diskriminanzanalyse   | 59    |
| 7.3.1 Trennverfahren                                                | 59    |
| 7.3.2 Beispiel                                                      | 64    |
| 7.3.3 Auswertung mit dem Computer und Darstellung der Resultate     | 69    |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8. Stereohöhe als quantitatives Interpretationskriterium                          | 81  |
| 8.1 Stereoskop und Stereomikrometer                                               | 81  |
| 8.2 Arbeitsweise                                                                  | 81  |
| 8.3 Quantitative Interpretation                                                   | 83  |
| 9. Kombination der Densitometermessungen mit den Stereomessungen                  | 84  |
| 10. Quantitative Erfassung der Textur                                             | 85  |
| 10.1 Mikrodensitometer                                                            | 85  |
| 10.2 Arbeitsweise                                                                 | 90  |
| 10.3 Quantitative Interpretationsmöglichkeiten                                    | 99  |
| 11. Beste Jahreszeit für eine Landnutzungsinterpretation auf farbigen Luftbildern | 109 |
| 12. Zur Frage des günstigsten Bildmassstabes                                      | 111 |
| 13. Zusammenfassung                                                               | 111 |
| Literaturverzeichnis                                                              | 113 |
| Verzeichnis der Abbildungen                                                       | 116 |
| Anhang : Bildteil                                                                 |     |



## 1. Einführung und Problemstellung

### 1.1 Einsatzmöglichkeiten des Luftbildes

Immer häufiger wird das Luftbild als hervorragendes Hilfsmittel zur Erfassung der Landschaft in ihrer Gesamtheit herangezogen. Die vielen diesbezüglichen Publikationen auf dem Gebiet der Geologie, Pedologie, Morphologie, Hydrologie, Ozeanographie, Kulturgeographie, Flurbereinigungen, Vegetationsgeographie, Landnutzung, des Forstwesens, der Meteorologie, Archäologie, Kartographie, Landesplanung und vieler anderer Wissenschaften sind Beweis genug dafür.

Die Vorzüge des Luftbildes liegen

- in der Uebersichtlichkeit
- in der Möglichkeit, am Boden schwer eruierbare Objekte und Zusammenhänge zu erkennen,
- in der Vereinfachung oder Verkürzung der oft mühsamen Aussenarbeit,
- in der Möglichkeit, Informationen der Oberfläche zu einem bestimmten Zeitpunkt festzuhalten.

Wichtig dabei ist eine sinnvolle Interpretation. Dies setzt genaue Kenntnisse der Verhältnisse am Boden (Fachwissen über die zu interpretierenden Objekte), der optischen und photographischen Bedingungen und Einflüsse auf die Luftbild-Herstellung, sowie der Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Auswerte-Hilfsmittel voraus.

Die moderne Wissenschaft verlangt aber heute, neben der rein visuellen, subjektiven Interpretation, eine objektive, quantitative Erfassung des Bildinhaltes. Quantitative Resultate ermöglichen eindeutige Aussagen über bestimmte Geländeobjekte und können mit Resultaten aus anderen Erhebungen verglichen werden. Sie liefern zudem einen Ansatzpunkt für die Tauglichkeit der verwendeten Parameter im allgemeinen und für bestimmte Jahreszeiten usw. im speziellen.

### 1.2 Problemstellung

In der Agrarwirtschaft verwendet man das Luftbild zur Ermittlung verschiedener Landnutzungstypen, zur Erfassung phänologischer Entwicklungsstadien, zu Ernteschätzungen sowie zur Planung neuer Anbaugebiete.

Die vorliegende Arbeit befasst sich ebenfalls mit der Anwendung des Luftbildes in der Agrarwirtschaft und setzt die Reihe der Arbeiten am Geographischen Institut der Universität Zürich zur Identifizierung landwirtschaftlicher Kulturen durch quantitative Interpretation fort.

Steiner (1961) und Mitarbeiter<sup>1</sup> befassten sich mit der Jahreszeit als Faktor für die Landnutzungsinterpretation am Beispiel des Schweizerischen Mittellandes. Untersucht wurden Grauton, Textur und Stereoeffekt auf Schwarzweiss-Luftbildern. Das Schlussergebnis zeigt, dass eine Erfassung aller vorkommenden Kulturarten bei einem mittleren Massstab von 1:10'000 sehr schwierig ist, d.h. eine eindeutige Trennung ist nur zwischen Wiesen, Getreide und Hackfrüchten möglich.

Der Monat Mai, bezogen auf ein phänologisches Standardschema, eignete sich am besten für die allgemeine Interpretation aller Nutzungsarten. Die Grautöne wurden auf Negativen mit einem Densitometer gemessen; die Felder mit typischen Texturen bzw. Stereoeffekt ausgezählt, die errechneten Prozentsätze auf einen einheitlichen Massstab korrigiert und die Resultate schliesslich miteinander kombiniert.

---

1 Steiner, Maurer (1966, 1968, 1969); Steiner, Maurer, Kilchenmann (1966)

Maurer (1965) untersuchte an einer Reihe von Farbluftbildern<sup>1</sup>, ebenfalls im Schweizerischen Mittelland, im Massstab 1: 8'000 die Farbverteilung und die Geländereflexion. Die Farbmessung wurde mit einem Spektromaten vorgenommen. Maurer kam zum Schluss, dass auf Grund der berechneten Farb- und Helligkeitswerte Farbaufnahmen für die Landnutzungsinterpretation mehr Informationen ergeben als Schwarzweiss-Aufnahmen.

Baumberger (1969) hat auf Grund von Densitometermessungen und Diskriminanzanalyse die beste Film-Filter-Kombination zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Kulturen ermittelt. Von den untersuchten Filmen (Panchromatischer Film, Infrarotfilm, Normalfarbfilm und Falschfarbfilm) zeigte der Normalfarbfilm<sup>1</sup> die besten Erfolgsraten<sup>2</sup>. Werden die Messungen der verschiedenen Filmtypen miteinander kombiniert, so verbessert sich wohl das Resultat<sup>3</sup>, die Wirtschaftlichkeit ist damit aber in Frage gestellt.

Steiner und Maurer (1969) haben die von Kilchenmann (1965) begonnenen und von Baumberger (1969) erweiterten Klassifikationen von verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen mit Hilfe von Dichtemessungen und Diskriminanzanalyse mit Stereomessungen kombiniert, wobei sich eine deutliche Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit ergab<sup>4</sup>.

In dieser Arbeit sollen ebenfalls die Möglichkeiten der Klassifikation landwirtschaftlicher Kulturen im Farbluftbild untersucht werden. Dabei sollte erstens geprüft werden, wie weit sich die von den oben erwähnten Autoren angewandten Verfahren bei einem anderen Landnutzungstyp anwenden lassen. Anstelle des Schweizerischen Mittellandes mit seiner verbesserten Dreifelderwirtschaft, bei der im Wechsel Getreide, Hackfrüchte und Kunstwiese/Grünfutter angebaut werden, wählen wir den Landnutzungstyp des Mittellwallis mit seinem sehr intensiven Obst-, Gemüse- und Rebbau.

Die Eidg. Landestopographie anbot sich im August 1968 entsprechende Aufnahmen zu machen. Wohl war damit der Zeitpunkt des Fluges faktisch bestimmt, doch ergab sich die Möglichkeit das Untersuchungsgebiet in drei verschiedenen Bildmassstäben (1: 5'000, 1: 12'000, 1: 25'000) auf Normalfarben- und Schwarzweiss-Film aufnehmen zu lassen. Dadurch ergab sich zweitens die Möglichkeit, das Problem des wirtschaftlichsten Bildmassstabes für derartige Untersuchungen zu eruieren. Drittens soll insbesondere der Textur und ihrer quantitativen Erfassung vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Es soll also versucht werden, den Bildinhalt mit verschiedenen, teils bewährten, teils neuartigen Methoden quantitativ zu identifizieren und insbesondere zu prüfen, in welchem Ausmass die Identifikation landwirtschaftlicher Kulturen vom Bildmassstab abhängig ist.

---

1 Aufnahmedatum 14. 7. 64

2 Erfolgsrate Normalfarbfilm Juli 56,6%

3 Erfolgsrate Kombination NFF/FFF/IRF/PF Juli 91,6%

4 Bei Berücksichtigung aller Parameter ergibt sich eine 100% richtige Klassifikation aller Kulturen



## 2. Einige Arbeiten zur quantitativen Erfassung des Luftbildinhaltes

Neben den bereits in Kapitel 1.2 erwähnten Arbeiten haben sich u.a. folgende Autoren zum Thema der quantitativen Erfassung des Luftbildinhaltes geäußert:

Rosenfeld (1962,1965) beschreibt die Textur quantitativ durch die mittlere Dichte und die Frequenz der Dichtekontraste.

Nakajima und Hasegawa (1962) führten Mikrodensitometermessungen an verschiedenen Waldtypen durch und verglichen die Resultate anschliessend mittels einer Fourieranalyse.

Langly (1965) führte nach einer Skandierung und Digitierung der Grautöne der Luftbilder eine analytische Interpretation auf einer digitalen Bildkarte durch.

Doverspike, Flynn, Heller (1965) untersuchten die Unterscheidbarkeit verschiedener Geländeobjekte auf Farbluftbildern durch mikrodensitometrische Farbdichtemessungen.

Lowe (1966) beschreibt ein Analogverfahren für die direkte Verarbeitung von in verschiedenen Wellenlängenbereichen aufgenommenen Signalen.

Landgrebe (1967) untersuchte Geländeobjekte nicht mit Hilfe einer Einzel-Luftbild-Kammer, sondern mit einem Multi-Channel-Scanning-Imager. Die Ergebnisse werden in Form einer vom Computer erstellten Karte geliefert.

Rosetti (1967) untersuchte verschiedene Vegetationsformen mit Hilfe eines Mikrodensitometers auf verschiedenen Filmtypen.

Rib und Miles (1969) untersuchten diverse Geländeobjekte mit Hilfe eines Densitometers auf verschiedenen Filmtypen und in verschiedenen Massstäben.

Akça (1970) befasste sich mit der Unterscheidung und Identifizierung verschiedenaltiger Fichten- und Buchenbestände auf Schwarzweiss-Luftbildern mit Hilfe eines Mikrodensitometers.

## 3. Verwendetes photographisches Material

|                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Kamera:                       | RC 8 Wild, Heerbrugg               |
| Objektiv:                     | Universal Aviogon Nr. 120          |
| Brennweite:                   | f = 152,87 mm                      |
| Bildformat:                   | 23 x 23 cm                         |
| Fluggeschwindigkeit:          | ca 360 km/h                        |
| Stereoskopische Ueberdeckung: | ca 60% in Flugrichtung             |
| Aufnahme:                     | Eidg. Landestopographie, Wabern/BE |
| Farbfilm:                     | Ektachrome 8442                    |
| Filter:                       | Sandwich + Y 10                    |
| Blende:                       | 5,6                                |
| Belichtungszeit:              | 1/350                              |
| Schwarzweiss-Film:            | Cronar 116 R                       |
| Filter:                       | 1                                  |
| Blende:                       | 1                                  |
| Belichtungszeit:              | 1                                  |



|                                               | Photo-Nr. <sup>1</sup> | Aufnahme-<br>datum | Aufnahme-<br>zeit | Höhe<br>ü/M<br>(m) | Höhe <sup>2</sup><br>ü/G<br>(m) | Bildmassstab <sup>3</sup> |
|-----------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------|
| <u>Farbfilm</u><br>(Transparent-<br>Positive) | 5622-5626              | 19. 8. 68          | 1153-1155         | 4290               | 3804                            | 1:24882 = 25'000          |
|                                               | 5630-5637              | 19. 8. 68          | 1210-1212         | 2252               | 1766                            | 1:11552 = 12'000          |
|                                               | 5640-5656              | 19. 8. 68          | 1221-1224         | 1235               | 749                             | 1: 4801 = 5'000           |
| Schwarzweiss-<br>Film<br>(Negative)           | 5699-5703              | 19. 8. 68          | 1310-1312         | 4285               | 3799                            | 1:24851 = 25'000          |
|                                               | 5687-5695              | 19. 8. 68          | 1254-1256         | 2240               | 1754                            | 1:11474 = 12'000          |
|                                               | 5665-5681              | 19. 8. 68          | 1241-1243         | 1220               | 734                             | 1: 4801 = 5'000           |

#### 4. Feldarbeit

##### 4.1 Landnutzungstyp im Untersuchungsgebiet

In Arbeiten von Steiner (1961), Maurer (1965) und Baumberger (1969) wurde v.a. dem Schweizerischen Mittelland und seiner spezifischen Landnutzungsform, dem Ackerbau, Beachtung geschenkt. Auch Meienberg (1966) untersuchte eine dem Schweizerischen Mittelland sehr ähnliche Nutzungsform.

Unser Untersuchungsgebiet (Fig. 1), das Mittellwallis, weist dagegen mit seinen Spezialkulturen eine ganz andere Nutzungsform auf, bei der eventuell ganz andere Kriterien für eine quantitative Bearbeitung relevant werden.

Die Betriebsformen der Schweiz lassen sich wie folgt gruppieren:

##### Betriebsformen des Mittellandes

- Ackerbaubetriebe
  - verbesserte Dreifelderwirtschaft
  - Klee graswirtschaft
- Gras-Acker - Betriebe

##### Betriebsformen des Jura

- Jurabetriebe ohne Weide
- Jurabetriebe mit Weide

##### Betriebsformen der Voralpen und Alpen

- Graswirtschaftsbetriebe mit etwas Ackerbau
- Reine Grauswirtschaftsbetriebe
- Alpbetriebe
  - Ackeralpbetriebe
  - Wiesenalpbetriebe

##### Spezialbetriebe

- Feldobstbaubetriebe
- Weinbaubetriebe
- Obst - und Gartenbaubetriebe
- Südalpine Betriebe mit Doppelkulturen

1 Genaue Lage des Flugstreifens siehe Fig.1

2 Höhe über Grund entspricht hier der mittleren Höhe über dem Rhonetalboden

3 Bildmassstab aufgerundet



# UNTERSUCHUNGSGEBIET IM MITTELWALLIS

BILDMASSTAB

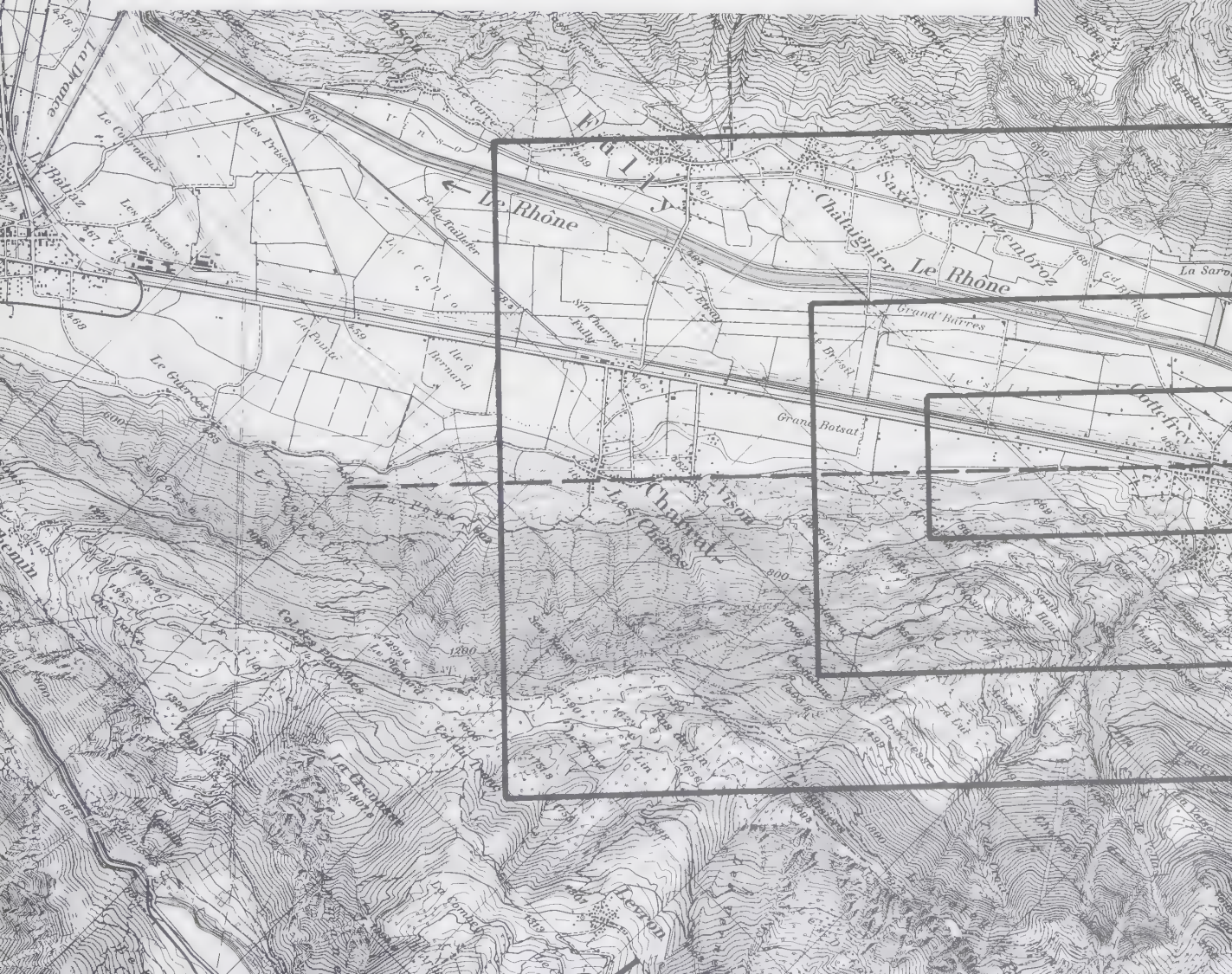
ANZAHL

LUFTBILDER

|   |           |    |
|---|-----------|----|
| A | 1: 5 000  | 17 |
| B | 1: 12 000 | 9  |
| C | 1: 25 000 | 5  |



0 1 2 km









Obstbau ist der künstlich geförderte Anbau verschiedener Obstarten und -sorten (z.B. Äpfel, Birnen). Unter klimatisch günstigen Bedingungen wird der Obstbau in Plantagen mit niedrigen Baumformen und Halbstämmen betrieben.

Beim Gartenbau handelt es sich um gärtnerische Freilandkulturen. Dabei werden grosse Mengen verschiedenster Gemüsearten (Salat, Zwiebeln, Tomaten usw.) angebaut.

Wein-, Obst- und Gemüsebau zeichnen sich durch einen äusserst hohen Intensitätsgrad der Bodennutzung aus und finden sich im Wallis auf engstem Raum nebeneinander.

#### 4.1.1 Klima- und Standortfragen

Das Wallis liegt zwischen den Walliser Alpen im Süden und den Berner Alpen im Norden und somit im Wind- und Regenschatten sowohl der vom Atlantik herkommenden feuchten Luftmassen als auch der vom Mittelmeer ausgehenden Störungen. Die Niederschläge sind darum sehr gering (50 - 60 cm/Jahr) mit dem Schwergewicht im Winterhalbjahr. Für die Beurteilung der Niederschlagsverhältnisse muss allerdings noch der Einfluss der Verdunstung mitberücksichtigt werden. Im Wallis haben wir fast ein Steppenklima, hingegen in Danzig mit entsprechendem Niederschlag (50 cm) Wiesen und intensiven Ackerbau.

Im Wallis herrschen im Sommer relativ hohe Temperaturen vor. Die Winde, die bis ins Tal vorstossen, sind im allgemeinen sehr trocken. Daraus resultiert eine starke Verdunstung. In Danzig hingegen herrschen auch im Sommer allgemein niedrigere Temperaturen vor, die zusammen mit dem hohen Feuchtigkeitsgrad der Luft (Meereseinfluss) die Verdunstung stark vermindern.

Die hohen Sommertemperaturen und die ausgeprägte Trockenheit bewirken die für grosse Teile des Wallis typische Versteppung. An den Talhängen ist eine landwirtschaftliche Nutzung nur durch Bewässerung möglich. Im Talboden, also in unserem primären Untersuchungsgebiet, liegen die Verhältnisse etwas anders.

Viele grosse alpine Täler (St.Galler-Rheintal, Rhonetal etc.) waren nach dem Rückgang der Gletscher zu Seebecken geworden, die sich in komplizierten Vorgängen langsam auffüllten. Von den Bergflanken her gab es Bergstürze, der Fluss brachte riesige Mengen an Geschiebe und Schwebestoffen aus dem Einzugsgebiet; Wildbäche schoben von beiden Talseiten grosse Schwemmkegel vor. Es entstanden weite flache Sümpfe und in Mulden Moore, die immer wieder von neuem Material überlagert wurden. Bäche suchten sich über den Schwemmkegel einen Lauf zum Hauptfluss; dieser aber änderte mit jedem Hochwasser sein Bett. Daraus resultiert ein buntes Mosaik von grobem bis sehr feinem Material und ein breites Spektrum bezüglich Bodenfeuchtigkeit (Fig. 2).

Vernässte Böden haben vielfältige Nachteile für die gesamte Bodennutzung. Es bedarf sorgfältiger Massnahmen zur Entwässerung, bevor sie bebaut werden können. Bei dauernder Vernäsung zeigt der Boden zudem einen ungünstigen Wärmehaushalt, er ist kälter als trockener Boden. Die starke Verdunstung entzieht dauernd Wärme. Die Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung wird verzögert, weil das Bodenwasser für eine geringe Temperatursteigerung bedeutender Wärmemengen bedarf. Warmer Regen und Luft vermögen weniger gut einzudringen. Der Mangel an Durchlüftung, weil alle Poren wassergefüllt sind, fördert die Ansiedlung nassertragender Pflanzen zum Nachteil der Kulturpflanzen<sup>1</sup>. Bei diesen Böden im Rhonetal handelt es

---

<sup>1</sup> vergl. Hunkeler, Grubinger, Tanner (1970)



sich um Parabraunerden (Atlas der Schweiz, 1968).

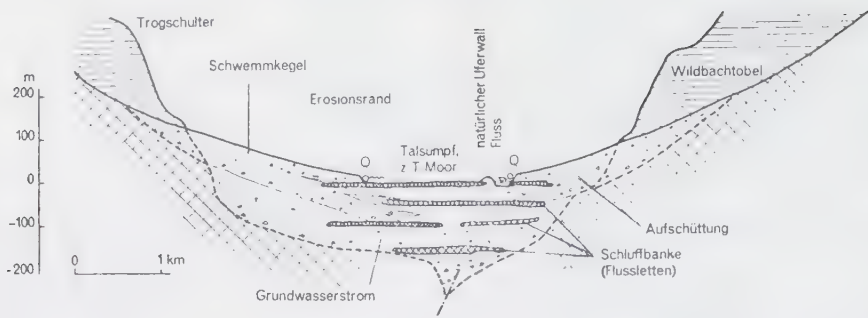


Fig. 2 Profil durch ein glaziales Trogtal (nach Hunkeler, Grubinger, Tanner: Landwirtschaftliches Meliorationswesen, 1970)

Am Ende des 19. Jahrhunderts ist man daher auch im Rhonetal zu einer grossangelegten Melioration geschritten. Durch Korrektur der Rhone, Anlegen offener Entwässerungsgräben und Drainage der Ebene entstand wertvolles Kulturland. Auf diesem neugewonnenen Boden entwickelte sich bald eine intensiv betriebene, spezialisierte Landwirtschaft.

#### 4.1.2 Obstbauliche Intensivkulturen

In der Schweiz beträgt die Anbaufläche<sup>1</sup> 4181 ha; davon entfallen auf den Kanton Wallis 1901 ha.

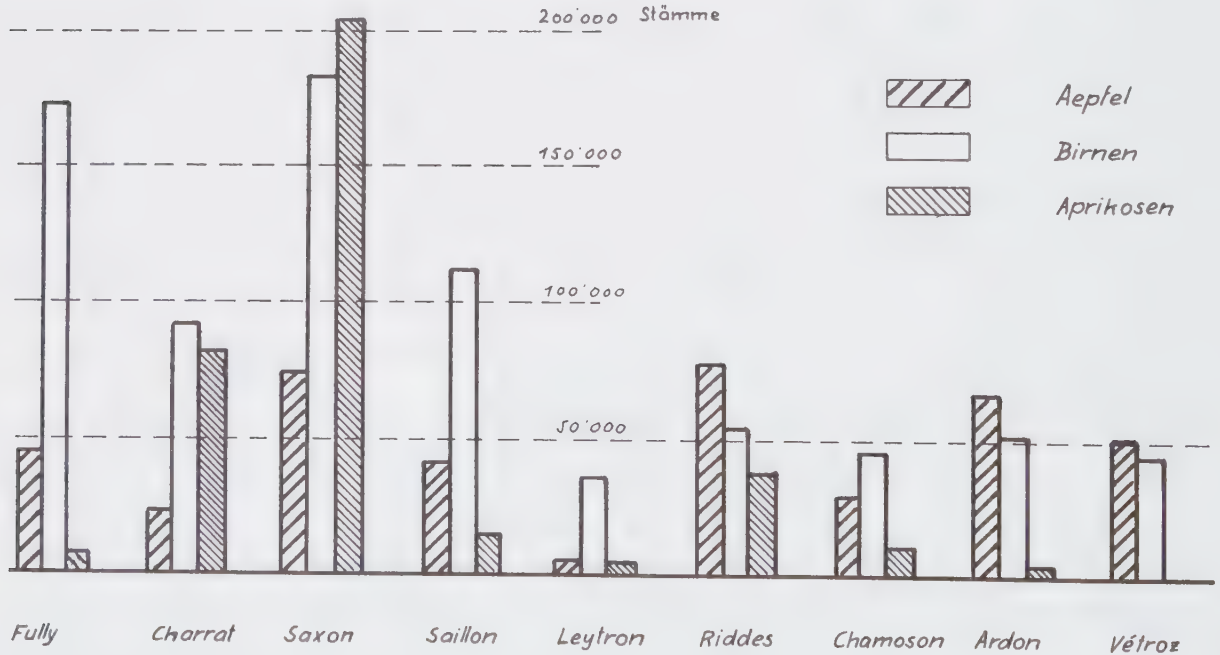


Fig. 3: Obstbaumbestände von Talbodengemeinden im Unterwallis (nach Eidg. Stat. Amt, Schweiz. Obstbaumbestand 1961)

<sup>1</sup> Eidg. Stat. Amt: Bodenbenützung 1965, Bern 1967

Der Obstbau steht heute allgemein in einer Umbruchperiode. Einer massiven Reduktion der Hochstämme steht eine rasche Entwicklung der Niederstammlagen, der sog. Erwerbsobstplantagen, gegenüber. 1961 betrug der Obstbaumbestand<sup>1</sup> im Wallis 1'985'000 (CH 2'583'000) in Intensivkulturen und 1'308'000 (CH 11'873'000) auf Wiesen und Aeckern davon 998'000 (CH 7'459'000) Apfelbäume, 1'510'000 (CH 4'028'000) Birnbäume und 665'000 (CH 782'000) Aprikosenbäume (Fig. 3). Auf 1 ha entfallen ca 2'500 Apfel- oder Birnbäume oder 4'000 Aprikosenbäume. Davon lässt sich im Vergleich zum Feldobstbau mit ca 30 Stämmen pro ha der Intensitätsgrad der Bodennutzung recht gut ablesen.

#### 4.1.3 Rebbau

Die schweizerische Anbaufläche beträgt 1965<sup>2</sup> 10'355 ha, wovon 3'139 ha auf den Kanton Wallis entfallen (1'226 ha davon in Berggebiete). Das Schwergewicht liegt hier auf dem weissen Gewächs wie die Zahlen der Weinmosternte von 1967<sup>1</sup> bezeugen. Von den 961'071 hl schweizerischer Weinmostproduktion entfallen 355'071 hl auf den Kanton Wallis, davon sind 94'229 hl rotes und 260'842 hl weisses Gewächs.

Die Reben werden fast ausschliesslich für die Weinproduktion verwendet (Amigne, Arvine, Ermitage, Malvoisie, Fendent, Dôle, Johannisberg, Pinot Noir, Chateaneuf etc.) oder für Brantwein (Marc de Dôle und Marc de Valais etc.).

#### 4.1.4 Beerenkulturen

Hier ist gesamtschweizerisch ein starker Rückgang in den letzten Jahren zu verzeichnen. Von 960 ha im Jahr 1960 ist die Anbaufläche auf 374 ha<sup>2</sup> im Jahr 1965 zurückgegangen.

Auf den Kanton Wallis entfallen 134 ha, davon 94 ha in Berggebiete. Das relativ seltene Vorkommen im Haupttal hat uns auch bewogen, die Beerenkulturen in dieser Arbeit nicht zu berücksichtigen. Die wenigen Felder, die im zur Verfügung stehenden Luftbildmaterial vorhanden sind, hätten keine saubere statistische Auswertung zugelassen.

#### 4.1.5 Gemüse

Ursprünglich war der Gemüsebau im Wallis ausschliesslich mit Bauernbetrieben verbunden. Heute sind jedoch grössere Unternehmungen entstanden, die sich auf Gemüseanbau spezialisiert haben. Die Gemüseanbaufläche<sup>2</sup> in der Schweiz umfasste 1965 5848 ha; auf den Kanton Wallis entfallen 522 ha, die sich wie folgt unterteilen lassen:

|                |             |             |
|----------------|-------------|-------------|
| Carotten       | CH 42'082 a | VS 3'234 a  |
| Blumenkohl     | CH 36'771 a | VS 10'923 a |
| Tomaten        | CH 20'115 a | VS 9'761 a  |
| Speisezwiebeln | CH 18'410 a | VS 1'978 a  |
| Spargeln       | CH 4'584 a  | VS 2'598 a  |
| Sellerie       | CH 15'376 a | VS 1'056 a  |
| Rotkabis       | CH 10'432 a | VS 1'360 a  |
| Weisskabis     | CH 17'647 a | VS 1'395 a  |

Aus den Zahlen geht hervor, dass das Wallis immerhin mit ca 10% an der schweizerischen Gemüseanbaufläche beteiligt ist, wobei vorallem Blumenkohl, Tomaten und Spargeln stark ins Gewicht fallen.

<sup>1</sup> Schweiz. Bauernsekretariat: Statistische Erhebungen und Schätzungen, 1968

<sup>2</sup> Eidg. Stat. Amt: Bodenbenützung 1965, Bern 1967



## 4.2 Untersuchte Kulturen

Für die Untersuchungen im Luftbild haben wir uns auf 8 Kulturarten beschränkt, von denen eine genügende Anzahl Felder vorhanden waren: Äpfel, Birnen, Aprikosen, Reben, Tomaten, Carotten, Kohl und Zwiebeln (Fig. 4).

### 4.2.1 Baumkulturen

Aus dem reichhaltigen Angebot haben wir für unsere Untersuchungen die am häufigsten auftretenden Baumkulturen ausgewählt:

Die Birnen, die das stärkste Kontingent ausmachen, gefolgt von den Äpfeln. Die Felder des Kernobstes liegen fast ausschliesslich im Talboden, da sie auf Grund der späteren Blüte- und Reifezeit weniger empfindlich auf Frühjahrsfröste sind. Die untersuchte Steinobstsorte, die Aprikosen, ist dagegen heute fast ausschliesslich auf die NW-exponierte Talflanke oberhalb Saxon konzentriert. Beim Kernobst - es handelt sich praktisch nur um Niederstammlagen - finden wir noch sehr viele verschiedene Anbauarten, was die Interpretation auf dem Luftbild sehr erschwert. Die Äpfel werden heute nur mehr neu als "Palmitten" gezogen, d. h. als Zwei- oder Dreiashecken an Spindeln. Man findet aber noch eine grosse Zahl älterer Formen, v. a. die "Buissons" mit Hohlkrone, d. h. der Stamm wurde, um mehr Licht zu erhalten, aus der Krone herausgeschnitten. Bei den Birnen werden heute noch 2 Arten angebaut, die "Palmitten", wie bei den Äpfeln, und die "Pyramiden", die in regelmässigen "Cordons" angeordnet sind. Die Gleichheit der modernen Anbaumethode und die ungefähr gleiche Reifeentwicklung des Kernobstes erschwert eine Identifikation aus der Luft, da auf die Kronenform oder die Baumgrösse nicht abgestellt werden kann.

Zur Zeit der Aufnahme wurden einzelne Birnensorten bereits geerntet. Ein grosser Teil der Birnen - und praktisch alle Apfelsorten waren dagegen noch nicht ganz ausgereift.

Bei Spalierpflanzungen beträgt der Abstand zwischen den Reihen 4 - 6 m; der Abstand zwischen den einzelnen Bäumen variiert zwischen 1 - 4 m; die Höhe beträgt durchschnittlich 3 m, der Kronendurchmesser (d. h. die Breite der Baumreihen) ca 1 m.

Die älteren Apfelbaum-Bestände sind in Reihen angepflanzt mit einem Abstand von 4 - 6 m; der Abstand der Bäume innerhalb einer Reihe beträgt je nach Pflanzung 2 - 5 m; die Höhe 3 - 5 m und der Kronendurchmesser schwankt von 2 - 5 m.

Die Birnbäume in Pyramidenform sind ebenfalls in Reihen angepflanzt; Abstand zwischen den Reihen 2 - 7 m; Abstand zwischen den Bäumen 2 - 5 m; Höhe 3 - 4 m und Kronendurchmesser 1,5 - 3 m.

Bei den Aprikosen handelt es sich fast ausschliesslich um Halbstämme der Sorte "Luizet", die bis 1'300 müM angepflanzt werden. Die beste Lage am linken Talhang liegt zwischen 500 und 800 m. Unterhalb 500 m besteht die Gefahr von Frühjahrsfrösten, über 800 m kann es zu Spätfrosten kommen, oder die Früchte können eventuell nicht mehr ausreifen.. Die Stämme sind ebenfalls in Reihen angebaut. Der Abstand zwischen den Reihen beträgt ca 2 m, der Abstand zwischen den Bäumen 4 m. Die Reihen sind gegeneinander versetzt. Die Höhe beträgt 3 - 4 m, der Kronendurchmesser 3 - 4 m. Aus der Luft gesehen, bilden sie ein nahezu geschlossenes Blätterdach. Die Ernte war zur Aufnahmezeit bereits abgeschlossen. Im allgemeinen lässt man zwischen den Baumreihen Gras wachsen, das gemäht und dann zur Humusbildung liegengelassen wird. Innerhalb einer Pflanzung herrscht heute Monokultur, d. h. eine



Fig. 4  
Landnutzungskartierung zwischen Riddes  
und Saxon (Feldkartierung, 1968)

AE = Apfelfel  
BI = Birnen  
AP = Aprikosen  
RE = Reben  
TO = Tomaten  
CA = Carotten  
KO = Kohl  
ZW = Zwiebeln  
MA = Mais  
ER = Erdbeeren

Obstart mit ein bis zwei Sorten, wobei auch meistens die gleiche Baumform beibehalten wird. Bei Neupflanzungen wird ein Abstand von 4,5 - 5 m empfohlen, damit Maschinen zwischen den Reihen durchfahren können.

Es kommt auch das Gesetz der "Atavismen" zur Anwendung, d.h. der Baum hat die Tendenz, sich zur Wildform zurückzubilden, wenn man ihn aus Kernen aufzieht. Daher werden die modernen Zwergapfelbäume auf vegetativem Weg gezüchtet, d.h. mit Stecklingen; dabei bleibt der Baum klein, der Ertrag setzt jedoch schneller ein als bei den aus Kernen gezüchteten Hochstämmen.

Verschiedenenorts trifft man daher Baumschulen, bei denen die Pflanzen sehr eng beieinander stehen. Sie werden zum Verkauf gezüchtet. Jungpflanzungen ermöglichen zudem oft eine Zweitnutzung (sekundär) von z.B. Gemüse, seltener Reben, bis die Bäume einen Ertrag abwerfen. Nachher ist der Schatten meistens zu gross, sodass das Gemüse zuwenig Sonne erhält und man auf eine Doppelkultur verzichtet.

#### 4.2.2 Reben

Im Rhonetal wachsen zwei bis drei Qualitätssorten. Die beste Qualität und den grössten Ertrag liefern die am rechten nach SE exponierten Talhang und die auf den vorgelagerten Schwemmflächen angepflanzten Reben. Der Talboden erzeugt die zweite Qualität, der linke, nach NW exponierte Hang die dritte. Hauptsächlich herrschen Stockreben vor, die in Reihen mit ca 1 m Abstand angebaut werden. Die einzelnen Rebstöcke sind 0,6 - 1,0 m voneinander entfernt und durchschnittlich 1,2 m hoch. Daneben finden sich auch vereinzelt Spalierreben, d.h. an Drähten gezogene Reben. Hier ist der Abstand meist etwas grösser - zwischen 1,0 und 2,0 m. Die Höhe der Pflanzen variiert zwischen 1,0 und 1,9 m.

Der Boden zwischen den Reben ist normalerweise von jeglichem Unkraut befreit und vielerorts sehr steinig zur besseren Rückstrahlung der Wärme. Im Aufnahmezeitpunkt waren alle Rebstöcke vollständig belaubt und die Stecken vollkommen umrankt. Im Luftbild erhält man somit infolge der geringen Abstände, des mehr oder weniger gleichförmigen Wachstums und der einheitlichen Anbauart eine fein gemusterte, körnige, grüne Fläche. Bis in den Frühsommer hinein überwiegt jedoch der kahle Boden, durchsetzt von Tausenden von Holzstecken. Daraus resultiert eine ausgeprägte punktförmige Textur.

#### 4.2.3 Gemüsekulturen

Hier musste eine Auswahl aus dem mannigfaltigen Angebot getroffen werden. Ausgewählt wurden die Tomaten, die sehr ähnlich wie die Reben an Holzstecken gezogen werden. Im Aufnahmezeitpunkt hatte die Ernte gerade begonnen. Die Reihen stehen in Abständen von 1,0 m, die Pflanzen sind 0,7 m auseinander, die Höhe beträgt durchschnittlich 1,1 m.

Als weitere Gemüsesorten untersuchten wir die Carotten, den Blumenkohl, den Blau- und Weisskabis und die Speisezwiebeln. Carotten und Kohl waren noch im Wachstum begriffen, die Zwiebeln dagegen meistens schon aus dem Boden herausgeholt und zur weiteren Ausreifung auf den Feldern ausgebreitet worden, was den Feldern eine gelblich-braune Farbe verleiht.

Die Spargelernte war längst vorbei. Sellerie, Krautstiele, Lauch, Kartoffeln und Mais haben wir im Untersuchungsgebiet nur sehr vereinzelt angetroffen. Eine quantitative Beurteilung kam demzufolge nicht in Frage.



Viele Parzellen liefern zwei Ernten pro Jahr. Die Gemüsekulturen finden sich vor allem in der Nähe der Rhone; der sandige Boden ist also ein bevorzugter Standort.

Mit einer einzigen Luftbild-Aufnahme kann niemals eine umfassende Inventarisierung erreicht werden. Die Jahreszeit spielt bei der Interpretation eine ausschlaggebende Rolle. Für eine derartige Untersuchung stand uns aber leider kein Bildmaterial zur Verfügung.

## 5. Moderne Lufterkundungssysteme und Interpretationsmethoden

### 5.1 Lufterkundungssysteme

Das Luftbild, mit dem wir uns in der vorliegenden Arbeit befassen, ist nur eine Form der heute möglichen modernen Lufterkundungssysteme, die im amerikanischen Sprachraum unter dem Namen "Remote Sensing of Environment" bekannt sind. Unter "Remote Sensing"<sup>1</sup> versteht man die Messung von Eigenschaften einzelner Objekte aus der Entfernung, d.h. ohne dass sich Messinstrument und Objekt berühren.

Wir unterscheiden dabei zwei Systemtypen. Die passiven Systeme, die verschiedenste Arten von Strahlungen der Erdoberfläche aufnehmen, und die aktiven Systeme, bei denen von einem Sender Energie ausgestrahlt wird und welche die von den Objekten am Boden reflektierten Anteile wieder auffangen.

1966 hat Haefner ausführlich über die heute gebräuchlichen photographischen und nicht-photographischen Erkundungssysteme berichtet. Der grösste Teil der verwendeten Systeme befasst sich mit den elektromagnetischen Strahlungen (Fig. 5) fast aller Wellenlängen. Hiezu gehört in erster Linie die Photographie, wobei hauptsächlich der sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums von  $0,4 - 0,7 \mu$  und der Bereich des nahen Infrarots zwischen  $0,7$  und  $0,95 \mu$  zur Herstellung von Luftbildern verwendet werden.

In der Regel verwendet man die panchromatische Schwarzweiss-Aufnahme, daneben werden aber auch orthochromatische Schwarzweiss-Filme, Infrarot-Filme, Normal- und Falschfarbenfilme gebraucht. Es ist oft nicht einfach zu entscheiden, welchem Film der Vorzug zu geben ist. Alle Filmarten haben ihre Vor- und Nachteile. Je nach der gestellten Aufgabe und dem gewünschten Ergebnis wird man den einen oder anderen Film bevorzugen. Oft liefert die Kombination mehrerer Filme die beste Information. Man ist darum verschiedentlich dazu übergegangen mehrlinsige Kameras mit diversen Film-Filter-Kombinationen einzusetzen, die sog. "Multiband Photography" (Yost (1967), Collwell (1961), u.a.). Für unsere Untersuchungen konnten wenigstens Schwarzweiss-Filme und Farbfilme simultan miteinander verglichen werden.

### 5.2 Interpretationsmethoden

In der herkömmlichen Luftbild-Interpretation spielt neben der photographischen Aufnahme der menschliche Interpret eine äusserst wichtige Rolle. Die ganze Interpretationstechnik ist stark der Subjektivität des Betrachters unterworfen, wobei die berufliche Erfahrung mit ins Gewicht fällt. Der sachkundige Interpret beurteilt die Objekte auf Grund seiner Kenntnisse und klassi-

---

1 Fernerkundung

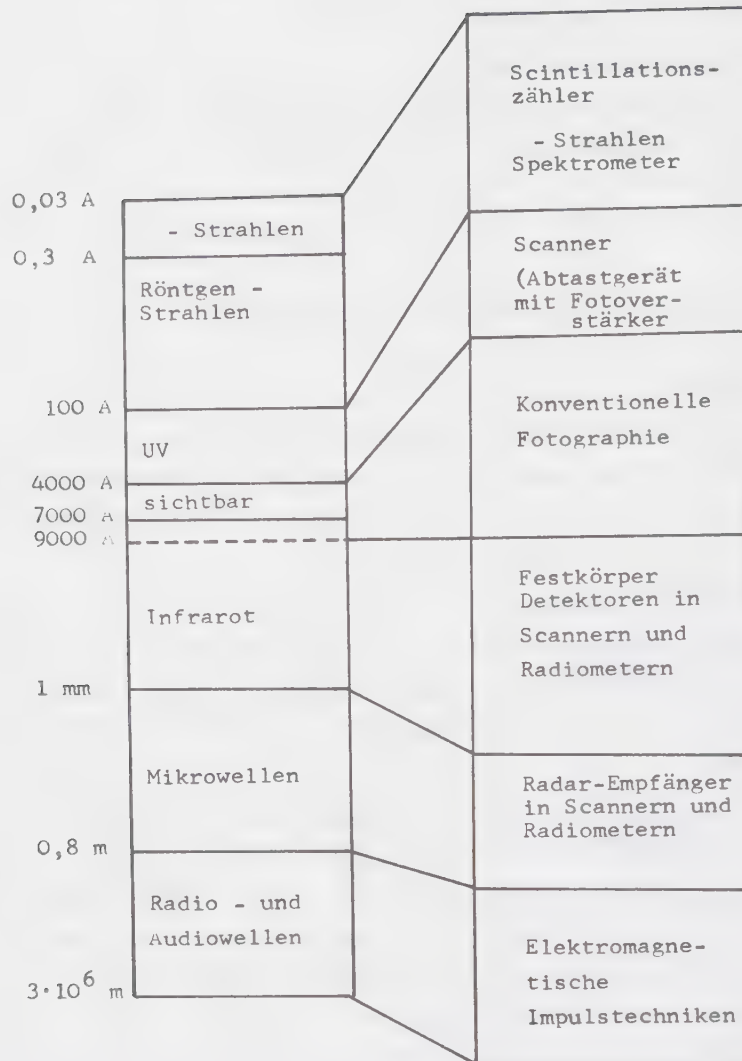


Fig. 5 "Remote Sensors" für das elektromagnetische Spektrum

fiziert sie entsprechend genauer. Die rein visuell beschreibende Erfassung der Bodenobjekte wird durch Erstellung eines systematischen Schlüssels, bestehend aus photographischen Vergleichsaufnahmen und Klassifizierung der Bildelemente wesentlich verbessert. Sie bleibt aber noch immer sehr der Subjektivität verhaftet. Haefner (1963) fordert von einem Photoschlüssel, dass er systematisch aufgebaut und umfassend sein soll, nur Dinge enthaltend, die wirklich im Luftbild gesehen werden können. Er unterscheidet nach Art des Inhalts (Sachschlüssel) und nach Art des Aufbaus (Vergleichs- oder Auswahl- und Eliminationsschlüssel).

Verschiedentlich wurde nun versucht, diesen subjektiven Charakter weitgehend auszuschalten und eine objektive Interpretation anzustreben, d.h. die visuelle Beurteilung durch instrumentale Messungen zu ersetzen. Gleichzeitig wird es dadurch möglich, alle in einem qualitativ hochstehenden Luftbild enthaltenen Informationen, die vom menschlichen Auge nur rudimentär erfasst werden können, zugänglich zu machen. Damit sind sachkundige Interpreten nicht mehr unbedingt erforderlich. Je nachdem wie weit diese Interpreten durch Apparaturen ersetzt werden, ergibt sich eine halbautomatische Klassifikation, die bereits von verschiedener Seite, v.a.

auch im Bereich der Landnutzung und Forstwissenschaft angewandt wurde (Steiner/Maurer 1966).

Eine vollautomatische Klassifikation ist v.a. am Laboratory for Agriculture and Research<sup>1</sup> im Aufbau begriffen, verlangt aber einen ausserordentlich grossen technischen Aufwand. Der Automation sind jedoch insofern Grenzen gesetzt, als sie die Klassifikation nur auf Grund eines ihnen eingegebenen "Gedächtnisses" vornehmen können, also eines aus quantitativen Grössen zusammengesetzten Schlüssels<sup>2</sup>. Zudem können Automaten keine indirekten Interpretationskriterien verwerten, wie dies dem menschlichen Interpreten möglich ist.

Die Automaten sind so eingerichtet, dass sie bestimmte Daten nach einem festen Algorithmus, d.h. nach Prozessen, die bei vorgegebenen Aktionen, Tatsachen und Schlüsselwörtern mit Sicherheit eine Lösung herbeiführen<sup>3</sup>. Die Digitalisierung der Informationen ist längst entwickelt. Ein Problem liegt jedoch darin, dass sich qualitative Begriffe nicht immer eindeutig mit Ziffern, d.h. quantitativ beschreiben lassen. Darum basieren bis heute alle bekannten Systeme auf der Messung der Dichte des Grau- bzw. Farbtönen, während sich die befriedigende Erfassung der Textur immer noch im Versuchsstadium befindet.

Steinbuch (1965) beschreibt ein automatisches Erkennungssystem, bei dem zuerst eine photoelektrische Zeichenabtastung, anschliessend die Bildung der Merkmale und zum Schluss die Klassifikation durch Merkmal-Vergleich und Entscheidung erfolgt. Bei der besten Deckung, nach dem Prinzip der Korrelation, der Ähnlichkeit, wird nicht die Klassenzugehörigkeit eines jeden Punktes angegeben, sondern durch Grenzflächen werden bestimmte Klassenbereiche gegeneinander abgegrenzt. Nachdem das Zeichen erkannt ist, bleibt allerdings die Schwierigkeit, ihm die Bedeutung zuzuordnen, die ihm der Mensch gibt.

Das Problem des Erkennens von konjugierten Punkten und die Berechnung von Koordinaten sind ebenfalls bekannt. Kazmierczak (1967) bezeichnet das eine Verfahren als "One-Line" - Auswertung, das andere als die "Off-Line" - Verarbeitung der Abtastsignale über Magnetbandspeicherung mit nachfolgender Korrelationsprüfung im Speicher. Die nach Abschluss der automatischen Luftbild-Auswertung gewonnenen Informationsdaten werden auf Film oder Papier als Karten (Isotonal-Mapping für Schwarzweiss-Bilder, bzw. Isochromat-Mapping für Farbbilder) mit der Lage nach richtig gesetzten Symbolen für die erkannten Objekte oder einfach als Liste von Objekten und zugehörigen Koordinaten angegeben.

Rosenfeld (1962,a,b, 1965) weist bei der automatischen Photointerpretation auf einige Zukunftsmöglichkeiten hin:

Ist das zu bestimmende Objekt auf der Photographie von bekannter Grösse und Gestalt, so kann es durch einfache optische Methoden oder mittels eines Digital-Computers mit einer gegebenen Schablone verglichen werden. Fälle, bei denen Form und Grösse des zu bestimmenden Objekts jedoch vorher bereits bekannt sind, treten selten auf. Ein Schablonenvergleich ist also nur denkbar beispielsweise bei Flugzeugen, Oeltanks usw. Diese Verfahren sind zudem stark massstabsgebunden.

Müssen aber Getreidearten, kulturelle Bauten oder Vegetationstypen identifiziert werden, nennt Rosenfeld den Eigenschafts- oder Merkmalsvergleich. Meistens werden Eigenschaften verwendet, die durch Untersuchung eines kleinen Teils der Photographie ermittelt werden können,

---

1 Landgrebe (1967)

2 Steiner (1962)

3 Schwarz (1966)



z.B. die spektrale Reflexion an einem Punkt.

Die halbautomatischen Interpretationsverfahren, die heute verwendet werden, sind eigentlich nur Brücken zur vollautomatischen Interpretation der Zukunft.

Die durch die Aufnahme erhaltenen Informationen lassen sich wiederum auf vielfältige Weise verändern und verbessern (Image Processing). Im Prinzip geht es darum, sie so zu transformieren, dass sie in optimaler, d.h. leicht interpretierbarer Form vorliegen. Die Umwandlung kann optisch oder elektronisch ausgeführt werden; z.B. durch das von Yost (1967) beschriebene "Color Enhancement", bei dem von Bildern, die mit einer Multibandkamera in verschiedenen Spektralbereichen aufgenommen wurden eine Farbsteigerung durch Umwandlung diverser Tönungsunterschiede in Farbkontraste erzielt wird. Die Transformation kann aber auch auf numerischem Weg erfolgen. Dazu versucht man den Luftbild-Inhalt durch messbare Größen zu erfassen, also eine Quantifizierung des Bildes herbeizuführen. Dazu dienen vor allem densitometrische, colorimetrische und mikrodensitometrische Messungen wie Arbeiten von Steiner (1961), Maurer (1965), Steiner, Maurer, Kilchenmann (1966), Steiner /Maurer (1968), Baumberger (1969), Rib/Miles (1969) und Akça (1970) zeigen.

## 6. Analyse des Bildinhalts

Die Möglichkeiten der Beeinflussung der Aufnahme bzw. der Interpretation sind in Fig. 6 schematisch dargestellt. Die wichtigsten informationsbeeinflussenden Faktoren sind:

### 6.1 Grauton

#### 6.1.1 Definition

Steiner (1961) definiert den "Grauton" auf einem Positiv bzw. das Synonym "Schwärzung" auf einem Negativ als "die Helligkeit einer belichteten und entwickelten Stelle einer photographischen Schicht". Die Grösse des Grauton- bzw. Schwärzungswertes wird durch den Prozentsatz des Lichtes angegeben, der von der betreffenden Stelle absorbiert wird. Da das menschliche Auge diese Helligkeitsabstufungen logarithmisch empfindet, werden in der Praxis meistens auch logarithmische Werte verwendet.

$$S = \log A$$

$$\text{wobei} \quad A = \frac{1}{R} \quad \text{beim Positiv} \quad \begin{array}{l} (A = \text{Absorptionsfähigkeit}) \\ (R = \text{Remissionsvermögen}) \end{array}$$

$$\text{bzw.} \quad A = \frac{1}{T} \quad \text{beim Negativ} \quad (T = \text{Transparenz})$$

#### 6.1.2 Grauton- bzw. schwärzungsbestimmende Faktoren

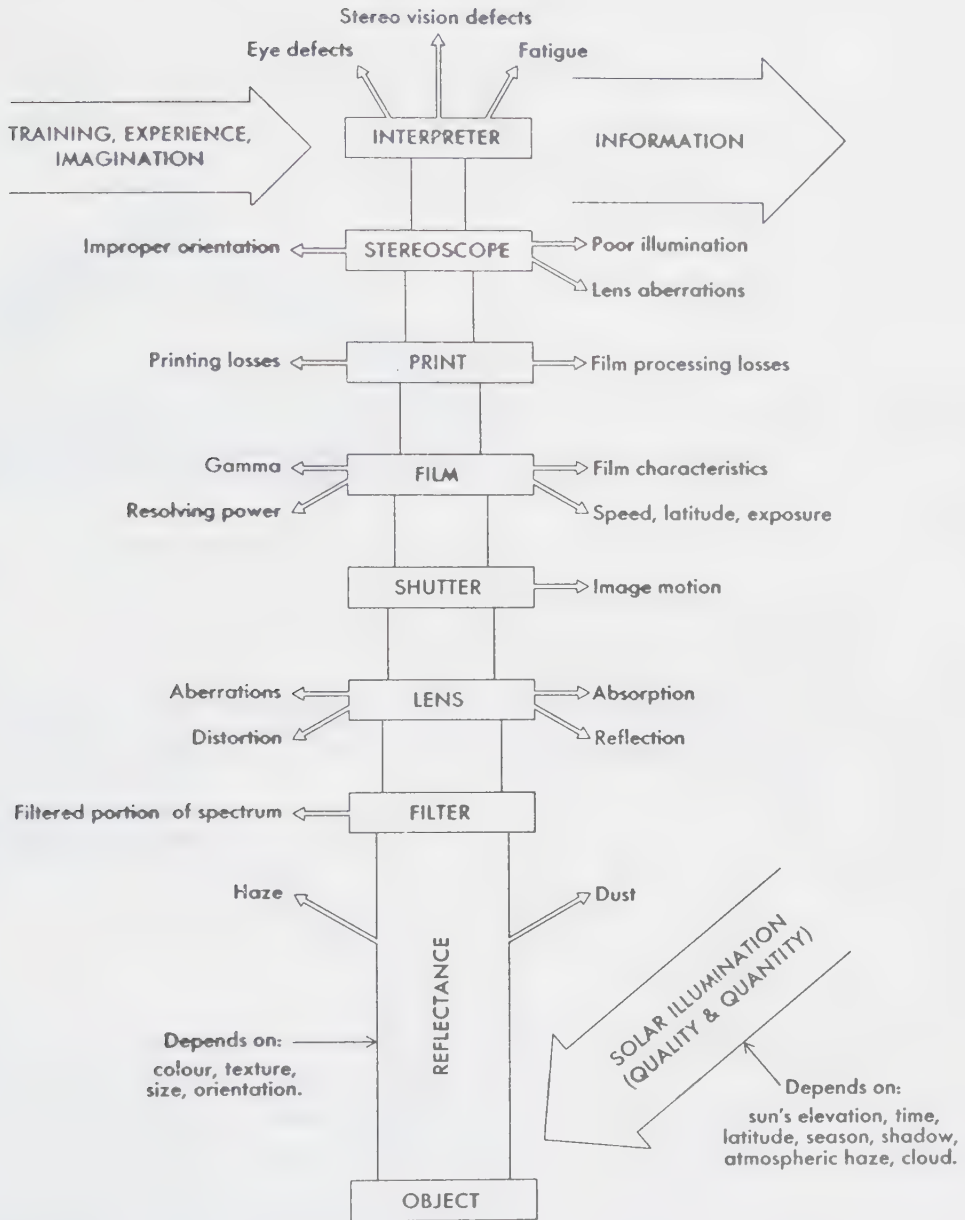
Eine ganze Reihe von Faktoren sind in mehr oder weniger starkem Ausmass an der Entstehung des im Schlusseffekt auf der photographischen Emulsion messbaren Grautons beteiligt:

1. Geländebeleuchtung:<sup>1</sup> Das Gelände wird von direktem Sonnenlicht und diffusem Himmelslicht beleuchtet. Ein Teil des Lichtes wird vom Boden bzw. vom Objekt absorbiert, der Rest wird

---

<sup>1</sup> Dietze (1957), Schwidofsky (1960), Meienberg (1966), Gierloff-Emden (1970)

## AIRPHOTO INTERPRETATION



**Fig. 6** Informationsbeeinflussende Faktoren (aus Hilborn, Photointerpretation at the University Level in Canada, 1967)

reflektiert und erreicht in einer - je nach Flughöhe - durch die untersten Schichten der Atmosphäre mehr oder weniger stark veränderten Form die Luftbild-Kammer und belichtet den Film (Fig. 7).

Eine horizontale Ebene auf dem Erdboden wird beleuchtet durch die Globalstrahlung, d. h. die kalorisch gemessene Summe aus direkter Sonnenstrahlung und diffusem Himmelslicht. Die Sonne strahlt ein über alle Wellenlängen kontinuierliches, von der Oberflächentemperatur der Sonne abhängiges Energiespektrum mit einem Maximum im grünen Bereich aus. Beim Gang durch

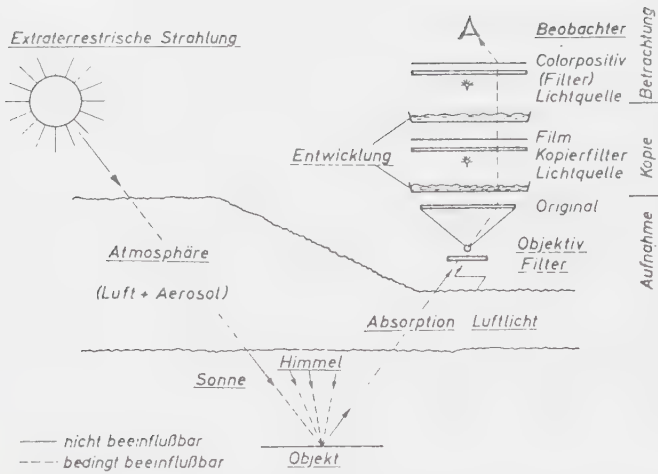


Fig. 7 Energiefluss bei farbigen Luftaufnahmen (aus Meier, Farbtreue Luftbilder ? 1967)

die Atmosphäre geht jedoch ein Teil der Energie verloren, und auch die spektrale Zusammensetzung des Sonnenlichtes wird ungleichmässig verändert (Fig. 8). Entsprechend wird selbstverständlich auch das am Boden reflektierte und in die Aufnahmekammer zurückgeworfene Licht verändert.

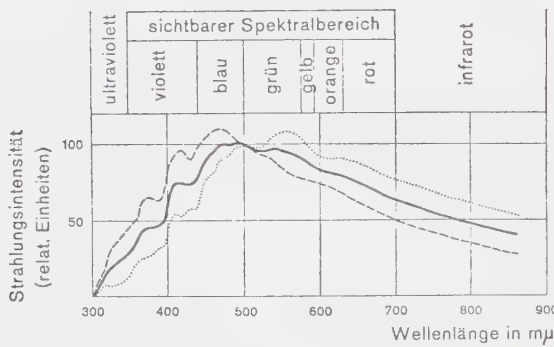


Fig. 8 Die relative Spektralverteilung der — Global-, ---- Himmels- und der .... Sonnenstrahlung ( $J = 500 = 100\%$ ), (im Flachland, bei wolkenlosem Himmel und Sonnenhöhen über  $20^\circ$ ) nach Herrmann (1947)

Die direkte Sonnenstrahlung ist abhängig von der Tages- und Jahreszeit und von der geographischen Breite. Sie ist gerichtet, d.h. sie wird am Boden bevorzugt in eine Richtung reflektiert, und verursacht demzufolge bei erhöhten Geländepunkten einer Ebene bzw. bei Objekten einen Schattenwurf (Schlagschatten), der sich entweder infolge des hohen Kontrastes und der Verdunkelung der Objekte störend oder aber als Interpretationshilfe durch die Erhöhung der Plastizität des Geländes auswirkt (Fig. 9). Zwischen Objekten in einer Ebene und an einem Talhang bestehen demzufolge erhebliche Unterschiede.

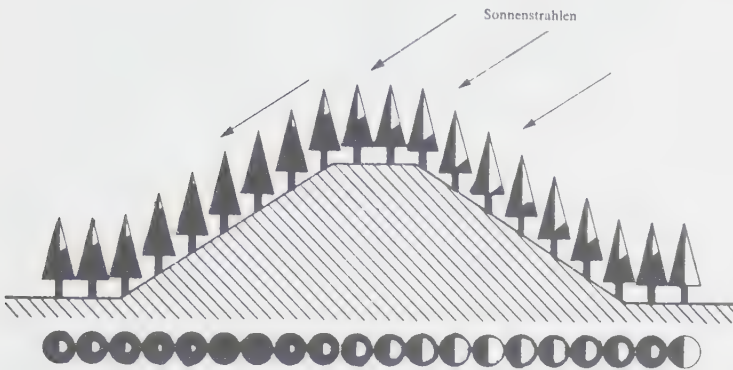
Bei den Aprikosenfeldern, die fast ausschliesslich am N-exponierten Rhonetalhang oberhalb Saxon liegen, muss dieser Umstand berücksichtigt werden, wenn diese Felder mit solchen, die ausschliesslich in der Talebene liegen, verglichen werden.

Das diffuse Himmelslicht entsteht durch Streuung an den Gasmolekülen der Luft, wobei nach dem Raleigh'schen Streuungsgesetz die blauen Anteile des Sonnenlichtes ca 10 x stärker aus der direkten Sonnenstrahlung herausgestreut werden als die roten Anteile. Auch die Absorption der Ozonschicht trägt zur Blaufärbung des Himmels bei (ABC der Optik, 1961, Meier, 1967).

Daneben wird das Sonnenlicht an den optisch wirksamen Dunstteilchen, wie z.B. Verbrennungs-



produkten, Staub-, Salzwasserteilchen und Ionen gestreut. Diese Teilchen koagulieren und lagern sich bei steigender Feuchtigkeit reversibel an Wasserdampfmoleküle an. In der Atmosphäre sind praktisch alle Teilchengrößen vorhanden. Jede Grösse bewirkt eine bestimmte Extinktion<sup>1</sup>.



**Fig. 9** Baumbeleuchtung in reliefiertem Gelände, unter der Annahme, dass die Baumstämme generell senkrecht stehen. (Aus Tolkening av Flygbilder 1955 zitiert bei Gierloff-Emden 1970)

Die durchschnittliche Extinktionskurve (Fig.10) ist im sichtbaren Bereich für Dunst etwa umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Neben der Streuung bewirkt auch die Absorption des Lichtes durch die Lufthülle eine Schwächung aller Wellenlängenintensitäten. Einzelne Wellenlängen werden durch bestimmte Gasarten fast gänzlich herausgefiltert. Die Bereiche zwischen diesen Lücken in der Energieverteilungskurve des Sonnenspektrums nach dem Gang durch die Atmosphäre nennt man "Fenster"; in ihnen ist die Transmission der Sonnenstrahlung, bis auf Streueffekte, gut.

Beispiel für Fenster hoher Absorption (Handbuch der Geophysik):

|               |              |       |
|---------------|--------------|-------|
| Kohlendioxyd: | 2,75         | $\mu$ |
|               | 4,25 - 4,28  |       |
| Wasserdampf:  | 0,7 - 0,74   |       |
|               | 0,79 - 0,84  |       |
|               | 0,92 - 0,97  |       |
|               | 0,09 - 1,16  |       |
|               | 1,31 - 1,49  |       |
|               | 1,76 - 1,97  |       |
|               | 2,52 - 2,84  |       |
| Ozon          | : 0,2 - 0,35 |       |
|               | 0,44 - 0,76  |       |

So lässt sich in den bearbeiteten Luftbildern mit kleiner werdendem Massstab deutlich eine vermehrte Blaufärbung, bzw. Aufhellung der Bilder erkennen.

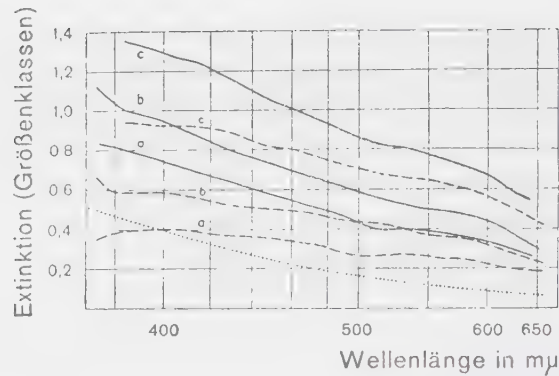
**2. Reflexion am Boden<sup>2</sup>:** Die Globalbeleuchtung der Geländeobjekte, die sich aus dem direkten Sonnenlicht und dem diffusen Himmelslicht zusammensetzt, ist abhängig vom Sonnenstand und von den Wetterverhältnissen.

**Beispiel<sup>3</sup>:** Sonnenhöhe 50°, klares Wetter  
Sonnenhöhe 50°, leichter Dunst

| Sonnenlicht : Himmelslicht |   |    |
|----------------------------|---|----|
| 3                          | : | 1  |
| 1                          | : | 30 |

Je nach Form, Oberflächenbeschaffenheit und Orientierung der Geländeobjekte werden die

<sup>1</sup> Extinktion = Schwächung des Sonnenlichts durch Streuung und Absorption  
<sup>2</sup> Gierloff-Emden (1970), Meienberg (1966)  
<sup>3</sup> nach Jones und Condit (1948)

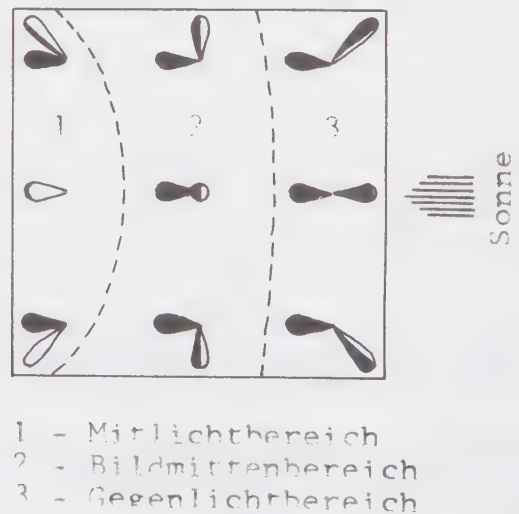


**Fig. 10** Die atmosphärische Extinktion im sichtbaren Strahlungsbereich  
 .... Raleigh Extinktion ) a geringe )  
 ---- Dunstextinktion ) für b mittlere ) Trübung  
 ——— Gesamttextinktion ) c starke )  
 nach Wempe (1947) abgebildet in ABC der Optik

werden die parallelen Sonnenstrahlen entweder diffus (= Remission), regulär oder diffus und regulär reflektiert. Ist die diffuse Reflexion vollkommen, so werden die Oberflächenelemente von allen Seiten gleich hell. Infolge des diffusen Himmelslichtes, des direkten Sonnenlichtes und der Rauheit der Oberfläche reflektieren jedoch fast alle Geländeobjekte diffus und regulär und besitzen daher eine Licht- und eine Schattenseite.

Da die direkte Sonnenstrahlung gerichtet ist, wird sie am Boden bevorzugt in eine Richtung reflektiert. Im Luftbild unterscheidet man daher, nach Meienberg (1966), einen Mitlicht-, Bildmitten- und einen Gegenlichtbereich (Fig. 11)

**Fig. 11** Die zentralperspektivische Abbildung einseitig beleuchteter Geländeobjekte und ihrer Schlagschatten in der Bildebene (nach Meienberg, 1966, S. 43)



Im Gegenlichtbereich werden vorzugsweise die Schlagschatten und Schatten der Objekte abgebildet, was zu einer Verminderung der Kontraste führt, im Mitlichtbereich dagegen werden die Lichtseiten der Objekte und ihre Schatten festgehalten, was verstärkte Kontraste ergibt. Dasselbe Objekt ist deshalb relativ heller als im Gegenlichtbereich dargestellt. Je nach Lage in der Bildebene wird dasselbe Objekt einen leicht veränderten Grau- bzw. Farbton aufweisen,

was bei Messungen entsprechend berücksichtigt werden muss.

Bei jeder Lichtreflexion geht Lichtintensität verloren. Das Verhältnis von einfallendem zu reflektiertem Lichtstrom nennt man bei spiegelnder Reflexion Reflexionskoeffizient, bei diffuser Reflexion Albedo und bei diffuser und regulärer Reflexion Streuvermögen bzw. für einen grösseren Geländeabschnitt Reflexionscharakteristik. Sie ist abhängig von Wellenlänge und Streu- richtung, wobei das Streuvermögen bei zunehmender Wellenlänge sinkt (Steiner, Haefner, 1965).

Die Remissionswerte pflanzlicher Objekte beispielsweise sind durch den Chlorophylleffekt stark jahreszeitlich abhängig<sup>1</sup>. (Fig. 12).

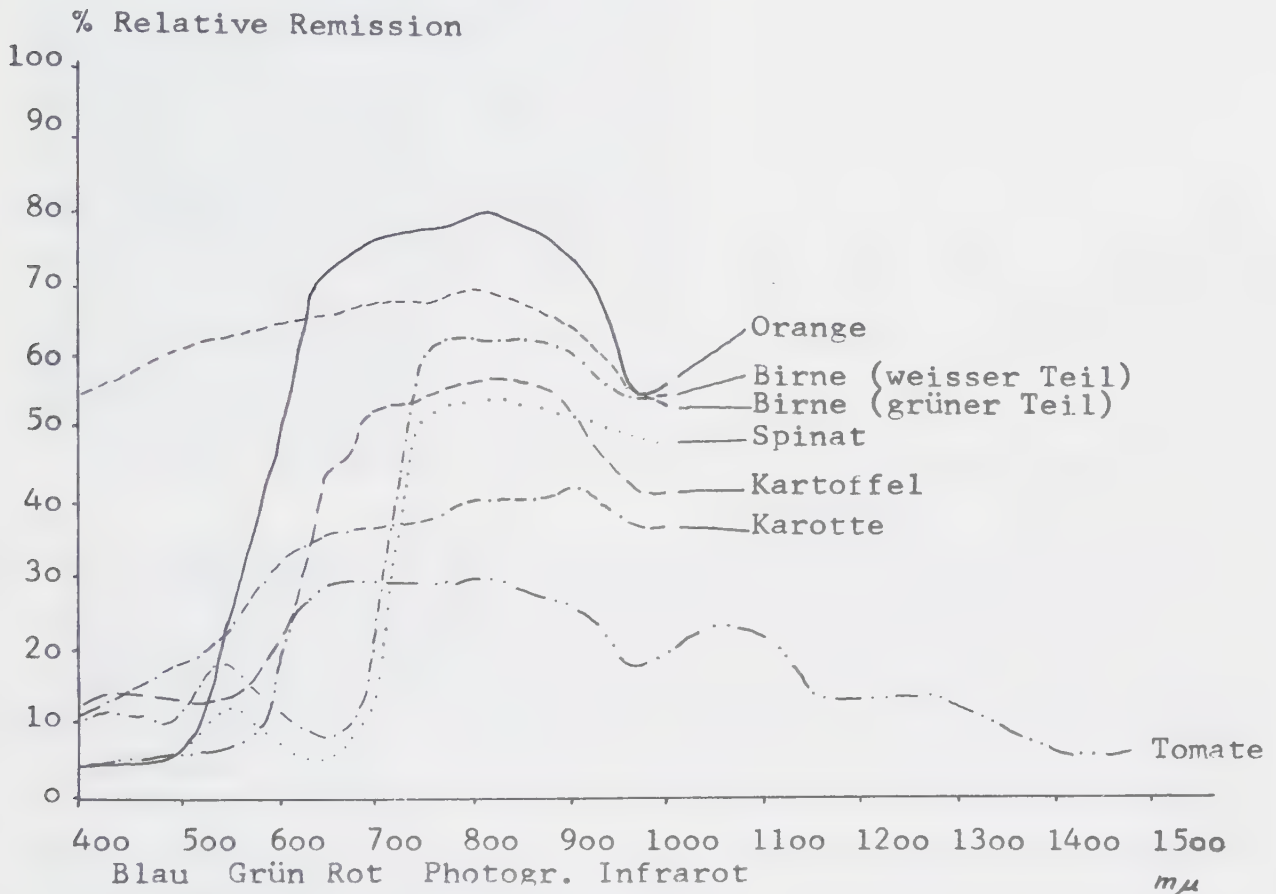


Fig. 12 Remissionskurven einiger Früchte und Gemüse im sichtbaren und infraroten Bereich (aus Rosetti, Kowaliski, Havé, 1967).

Ein weiteres wichtiges Merkmal zur Unterscheidung ist der Helligkeitskontrast. Man versteht darunter das Verhältnis von Helligkeitsdifferenz zwischen Umgebungs- und Objekthelligkeit zur Helligkeit des Hintergrundes. Der Kontrast ist am Tag im allgemeinen klein, nachts aber kann grosser Kontrast zwischen einer Lichtquelle und dem Hintergrund entstehen. Der Objektkontrast hängt ab von der Globalbeleuchtung und vom Verhältnis des direkten Sonnenlichtes zum diffusen Himmelslicht. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich Objekte am Boden visuell und

<sup>1</sup> Steiner (1961), Steiner, Haefner (1965), Rosetti, Kowaliski, Havé (1967)



durch Messungen

- durch ihre Farbe ( $\lambda$ , Intensität, Sättigung, Polarisationsgrad)
- durch ihre Temperatur
- durch die Kontraste von Helligkeiten gegenüber ihrer Umgebung
- durch ihr Material (Brechkraft, Absorption), ihre Form und
- durch ihre Oberflächenbeschaffenheit

unterscheiden.

3. Kontrastübertragung: In der Aufnahmekammer treffen zwei verschiedene Lichtanteile ein, einmal die vom Geländeobjekt und seiner Umgebung regulär und diffus reflektierten Teile der Globalstrahlung und andererseits das von der zwischen Geländeobjekt und Aufnahmekammer liegenden Schicht der Atmosphäre gestreute Himmelslicht. Der Anteil des Himmelslichtes wächst mit zunehmender Entfernung von Objekt und Aufnahmeort. Nach Erfahrungswerten lässt sich folgende Faustregel aufstellen: Zunahme der Lufthelligkeit bis 10'000 m um 1% pro 1'000 m<sup>1</sup>.

Die Helligkeitsverhältnisse werden verändert und damit auch der Kontrast eines Objektes gegen seine Umgebung vermindert. Diese Kontrastverminderung kann durch spezielle Kopierverfahren, durch Filme grosser Gradation oder durch elektronische Kontrastverstärkung weitgehend ausgeglichen werden.

Nach dem ZEISS-Taschenbuch reflektiert dunkler Wald etwa 1% des Sonnenlichts, Fels dagegen ca 30%. Der Kontrast beträgt also 1:30. Bei kleinen Flughöhen bis 1'000 m ist das Streulicht gering, sodass der volle Kontrastumfang des Geländes auf den Film einwirken kann. Durch die Entwicklung zu einem Gamma von 1,0 wird der Geländekontrast 1:30 in gleichwertige Schwärzungsunterschiede umgewandelt.

Bei Flughöhen um 3'000 m reflektiert das Aerosol zusätzlich etwa 3% des Sonnenlichtes in die Aufnahmekammer<sup>2</sup>. Es gelangt also mehr Streulicht in die Bildebene. Die Folge ist, dass dunklere Flächen stärker aufgehellt werden als helle. Der ankommende Kontrastumfang ist von ursprünglich 1:30 auf nur noch 4:33 = 1:8 zusammengeschrumpft. Soll wieder der volle Geländekontrast im Negativ erreicht werden, so ist ein Gamma von 1,6 anzustreben usw.

Mit zunehmender Entfernung verändern die Objekte aber auch ihre Farbe; sie werden blau und blasser. Das Luftbild erhält einen Blaustich. Alle diese Tatsachen müssen bei verschiedenen Flughöhen mitberücksichtigt werden.

Als Kriterium der Bildgüte wird heute neben dem Auflösungsvermögen die Kontrastübertragung (Contrast Transfer Function = CTF oder Modulation Transfer Function = MTF)<sup>3</sup> verwendet.

Mit Hilfe der CTF können grosse und kleine Strukturen, also beliebig grosse Raumfrequenzen untersucht werden, die Bildgüte unabhängig von subjektiven Massstäben und Regeln beurteilt und Kontraste jeglicher Grösse bearbeitet werden. Ausserdem lässt sich damit einerseits die Wirkung eines einzelnen qualitätsbeeinflussenden Faktors, andererseits das Zusammenwirken verschiedener Faktoren bestimmen. Die Kontrastübertragung ist wie folgt definiert:

$$CT \text{ (in \%)} = \frac{\text{Bildkontrast}}{\text{Objektkontrast}} \cdot 100$$

Das Objektiv der Aufnahmekammer leuchtet den Film in der Brennebene nicht gleichmässig aus. Gegen den Bildrand ist ein beträchtlicher Lichtabfall zu verzeichnen. Steiner (1961)

1 Steiner (1961)

2 Schwidofsky (1963)

3 Meienberg (1966); Maag, Itten (1970)

hat diesen Umstand mit Hilfe von Linien gleicher Schwärzung darzustellen versucht. Diese umgeben das Bildzentrum theoretisch ringförmig. In Kombination mit der Reflexionscharakteristik ergeben sich dann ellipsenförmige Linien (Fig.13) mit einem aus dem Bildmittelpunkt in den Mitlichtbereich verschobenen Zentrum.

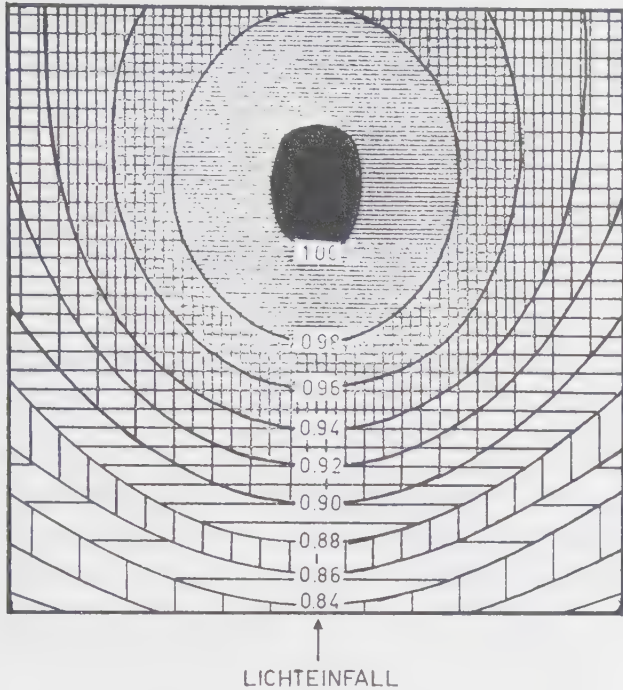


Fig. 13 Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion von Reflexionscharakteristik und Objektivcharakteristik (aus Steiner, 1961 S. 23)

Die Lichtverteilung in der Bildebene des 15 cm Aviogon und des 10 cm Universalaviogon von Wild zeigt Fig. 14 und 15. Der bei Weit- und Ueberweitwinkelobjektiven unvermeidbare Lichtabfall wird durch eine Verlaufschiicht auf dem Filter gemildert. Dabei wird die Bildmitte so abgeschattet, dass die belichtete photographische Schicht praktisch gleichmässig geschwärzt bzw. gefärbt erscheint. Bei Schwarzweiss-Emulsionen normaler Gradation können Helligkeitsdifferenzen bis ca 40% toleriert werden. In der Farbphotographie spielt die Kompensation des Lichtabfalls

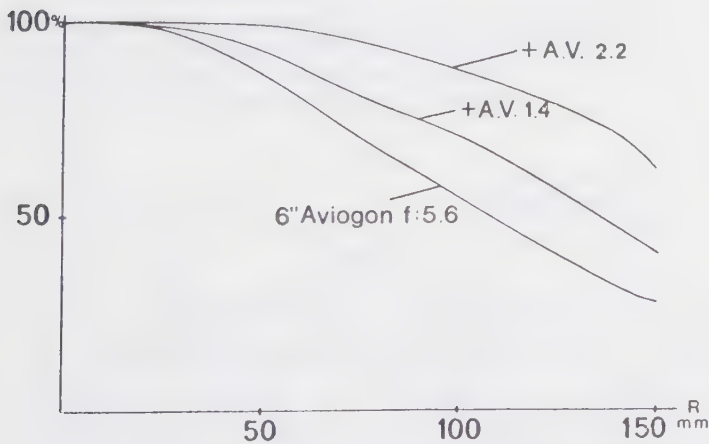
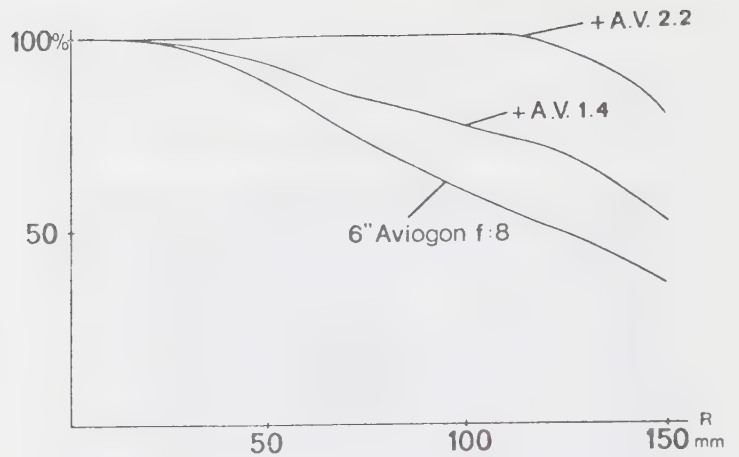


Fig. 14 Relative Beleuchtung in der Negativebene für 15 cm Aviogon,  $f = 5,6$  (nach Duddek, 1967, S.1119)

Fig. 15 Relative Beleuchtung in der Negativebene für 15 cm Aviogon,  $f = 8$  (nach Duddek, 1967, S. 1119)



eine grössere Rolle, da die Farbemulsionen nur einen geringen Belichtungsspielraum aufweisen. Die notwendige Dichte des Verlauffilters im Zentrum hängt von der Flughöhe und der zwischen Gelände und Kammer befindlichen Dunstschicht ab (Duddek, 1967).

Erhöhte Geländepunkte einer Ebene erfahren durch die zentralperspektivische Projektion im Luftbild eine Verlagerung in radialer Richtung vom Nadir gegen aussen. Diese Bildpunktverlagerung nimmt mit der Höhe des Objektes und seiner Entfernung vom Nadir zu, d. h. ein Baum wird mit zunehmendem Abstand von der Bildmitte immer mehr in der Aufsicht dargestellt und je nach Richtung seiner Verlagerung mit seiner Schattenseite oder mit seiner sonnenbeschienenen Seite abgebildet (Fig. 16).

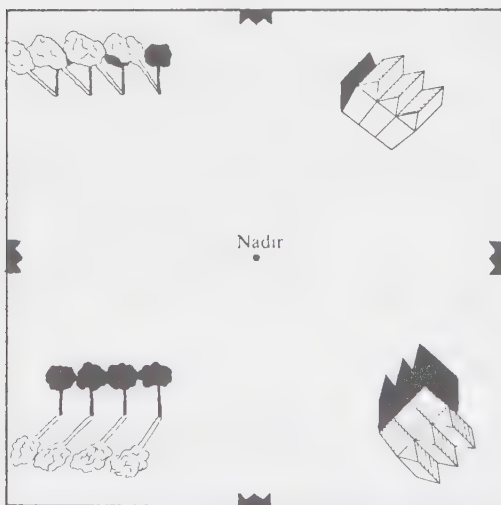


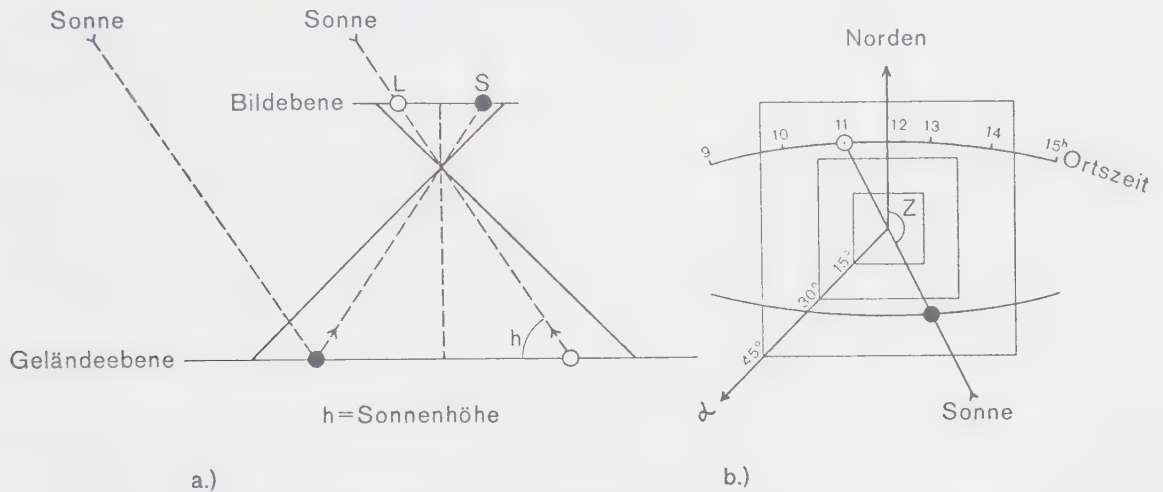
Fig. 16 Infolge des Zusammenspiels von zentralperspektivischer Abbildung und Schlag Schatten treten unterschiedliche Helligkeiten auf (aus Schweisstal, 1967, S. 33).

Ausserdem werfen diese erhöhten Objekte, wie bereits erwähnt, einen Schlagschatten, der bei ebenem Gelände aus der Sonnenhöhe berechnet werden kann. Bei Geländeneigung verkürzt er sich, wenn die Schlagschatten hangaufwärts fallen bzw. verlängert sich, wenn sie hangabwärts fallen. Am sog. "Hotspot"<sup>1</sup> sind nur die beleuchteten Objektseiten zu erkennen, die Schatten verschwinden, d. h. die erhöhten Geländepunkte verdecken ihre Schlagschatten. Auf der Geraden

<sup>1</sup> Mason (1953), Meienberg (1966)



durch Hotspot und Nadir liegt diametral entgegengesetzt im gleichen Abstand der "Solar Reflection Spot" (Fig.17). Hier wird das Geländeobjekt genau in die der Schlagschattenrichtung entgegengesetzte Richtung verlagert, so dass an diesem Ort der ganze Schlagschatten und die dunkle im Sonnenschatten liegende Objektseite abgebildet werden. Der Hotspot enthält wegen der Ueberbelichtung und Schattenlosigkeit weniger gut identifizierbare Details als seine Umgebung. Der Einfluss der Aufhellung auf das Problem der Messungen ist von Maurer (1965) eingehend untersucht worden.



- a) S = Schattenpunkt ● im Gegenlichtgebiet des Luftbildes bei rauen Oberflächen und schattenwerfenden Einzelobjekten oder Sonnen-Spiegelbild bei vollkommen glatten spiegelnden Oberflächen.  
L = Lichtpunkt ○ (hotspot) im Mitlichtgebiet des Luftbildes bei rauen Oberflächen und schattenwerfenden Einzelobjekten.
- b) Die Lage des Licht- ○ und Schattenpunktes ● in der Bildebene in Abhängigkeit von der Ortszeit  $t$  bzw. des Sonnenazimutes  $z$  und des Bildwinkels der Aufnahmekammer (z. B. Weitwinkelaufnahme mit Halbwinkel  $\alpha = 45^\circ$ , Normalwinkelaufnahme mit Halbwinkel  $\alpha = 30^\circ$  und Teleaufnahme mit Halbwinkel  $\alpha = 15^\circ$ ).

Fig.17 Licht- und Schattenpunkte im Senkrechtluftbild (aus Meienberg, 1966, S. 43)

4. Photographischer Prozess: Jeder Film besitzt für die verschiedenen Lichtwellenlängen eine bestimmte Empfindlichkeit (Fig.18). Das ist wichtig für die Interpretation von Details, die sich nur durch die Farbe unterscheiden. Aufnahmen vom gleichen Objekt mit verschiedenen sensibili-

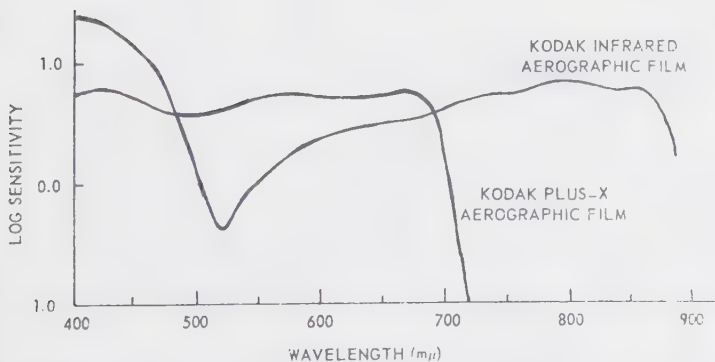


Fig.18 Empfindlichkeitskurven für Schwarzweiss-Filme (aus Manual of Color Aerial Photography, 1968, S. 444)

sierten Filmen (Multiband Kameras) ermöglichen oft eine viel bessere Identifizierung als ein einzelner Film. Messungen in Randnähe eines Feldes sollten nach Möglichkeit vermieden werden, da sonst die Bestimmung der mittleren Dichte verfälscht werden könnte. An der Grenze zwischen zwei Flächen mit relativ grossem Schwärzungsunterschied wird durch Diffusionswirkung des Entwicklers und seiner Reaktionsprodukte entlang eines schmalen Saumes der Kontrast auf Kosten des weniger geschwärzten Feldes erhöht. Umgekehrt kann eine kleine helle Fläche auf Kosten einer dunkleren Nachbarfläche fast vollständig verschwinden (Maag, Itten, 1970). Eine Kontraständerung ist aber auch zur besseren Interpretation durch nachträgliche Aufhellung, Masken oder durch elektronische Rückkoppelung usw. möglich.

## 6.2 Farbton

### 6.2.1 Farbmessung

Loof bezeichnet die Gesamtheit des Gesehenen als Gesichtsempfindung (Fig.19). Sie besteht



Fig. 19 Gesichtsempfindung und Farbempfindung (Loof, ZEISS-Mitteilungen Farbe und Forschung)

aus einer geometrischen (Ort, Form, Grösse, Struktur), einer zeitlichen (Bewegung) und einer farblichen Wahrnehmung. Diese Farbwahrnehmung, das Licht, gekennzeichnet durch Wellenlänge und Intensität, tritt als Farbreiz in unser Sehorgan und erzeugt via Nerven und Gehirn eine Farbempfindung.

Die Farbe als Sinnesempfindung kann in gewissem Umfang durch Vergleich mit bestehenden Farbtafeln oder zahlenmässig durch spektrale Analyse ermittelt werden. Das Endziel einer jeden Farbmessung ist die Gewinnung dreier voneinander unabhängiger Messgrössen, die gestatten, die zu prüfende Farbe in ein Farbsystem einzuordnen. In Europa ist heute das CIE - System (Commission Internationale d'Eclairage) mit den Normfarbwerten X,Y,Z üblich<sup>1</sup>.

Die Normfarbenwertanteile, also

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \text{und} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

sind die Koordinaten in der flächenhaften Normfarbtafel<sup>2</sup> (Fig. 20).

Die Farbmessung liefert also die Grundlage, um aus dem Farbreiz (Wellenlänge, Intensität) Farbwerte und damit Farbmesszahlen zu berechnen. Damit ist die jeweilige Farbempfindung eindeutig gekennzeichnet.

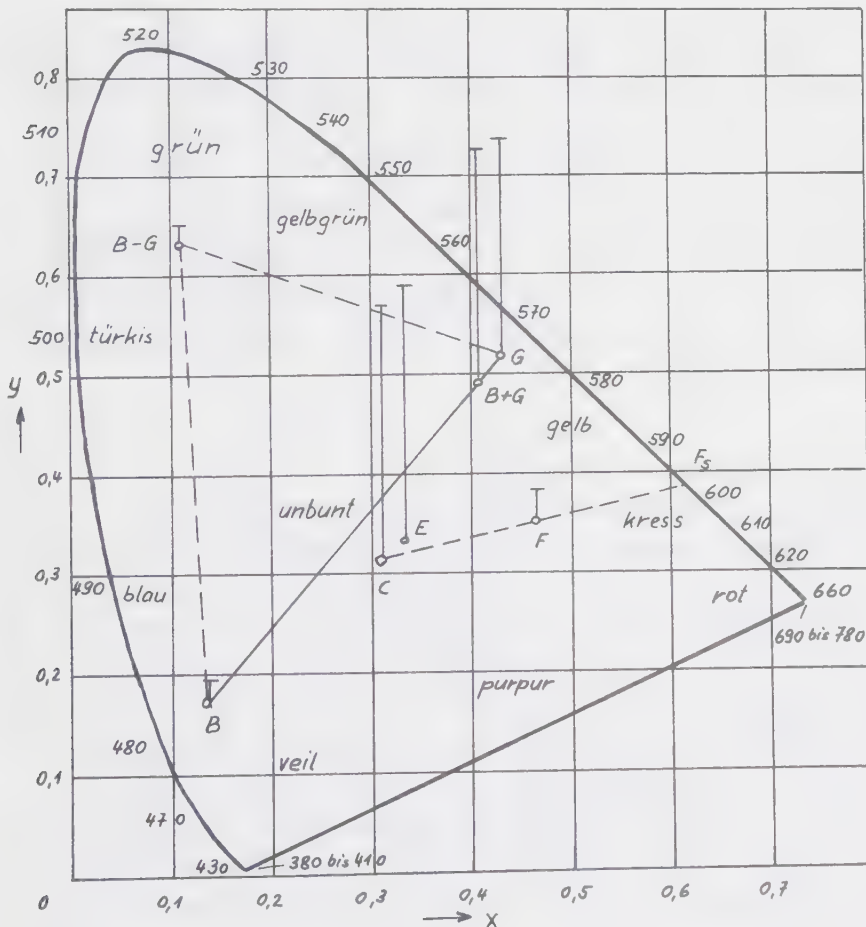


Fig. 20 CIE - Farbtafel nach DIN 5033 mit der Mittelpunkt-Farbart E, dem Farbort C für mittleres Tageslicht und Angabe der ungefähren Farbtonbezirke (aus Rösch, 1969, S. 76)

1 Höfert (1957), Meier (1967), Rösch (1969)  
2 Deutsche Normen DIN 5033 Farbmessung



In unserer Arbeit konnte aus technischen Gründen eine Farbmessung in diesem Sinne nicht durchgeführt werden, sondern wir mussten uns damit begnügen, nur die eine Farbkomponente, die Helligkeit, aufgeteilt in einzelne Spektralbereiche zu untersuchen.

### 6.2.2 Farbfilm

Der für die Farbaufnahmen verwendete Film (Kodak Ektachrome Aero Film, Typ 8442, 125 ASA) ist ein Spezialfilm der sich auf Grund seines hohen Kontrastes vorallem für Aufnahmen aus Flughöhen von über 4000 müG eignet (Duddek, 1967).

Swanson (1960) sieht den Vorteil des Farbfilms darin, dass er alle in der Natur bestehenden Farbunterschiede in entsprechenden Farbabstufungen in der Photographie wiedergibt, während der Schwarzweiss-Film alle Farben auf Grautöne reduziert. Den ca 200 Grautonstufen, die das menschliche Auge bestenfalls zu unterscheiden vermag, steht ein Vielfaches an Farben und Farbschattierungen gegenüber.

Verschiedene Autoren haben mehrfach auf die grössere Aussagekraft des Farbfilms hingewiesen (Steiner, 1961; Maurer, 1965; Tarkington, 1953; Tarkington, Sorem, 1963). Der Farbfilm in der Luftbildinterpretation setzt sich jedoch nur zögernd durch, weil einerseits Material, Aufnahme, Entwicklung und Verarbeitung des Films schwieriger und kostspieliger sind, und andererseits der zeitliche und instrumentelle Aufwand grösser ist.

Die ersten Farbfilme basierten noch auf dem Prinzip der additiven Farbmischung, d.h. kleine rote, grüne und blaue Farbkörnchen setzten das Bild mosaikartig oder linienhaft zusammen. Heute beherrschen die subtraktiven Verfahren (Pigmentmischung) den Markt. Im Prinzip wird eine blau-, eine grün- und eine rotempfindliche Photoschicht überaus dünn auf einen Schichtträger aufgegossen und gemeinsam belichtet. Beim Verarbeitungsprozess wird dann das ursprüngliche Silber durch gelbe, purpurne und blaugrüne Farbstoffpartikel ersetzt (Farbkuppelung).

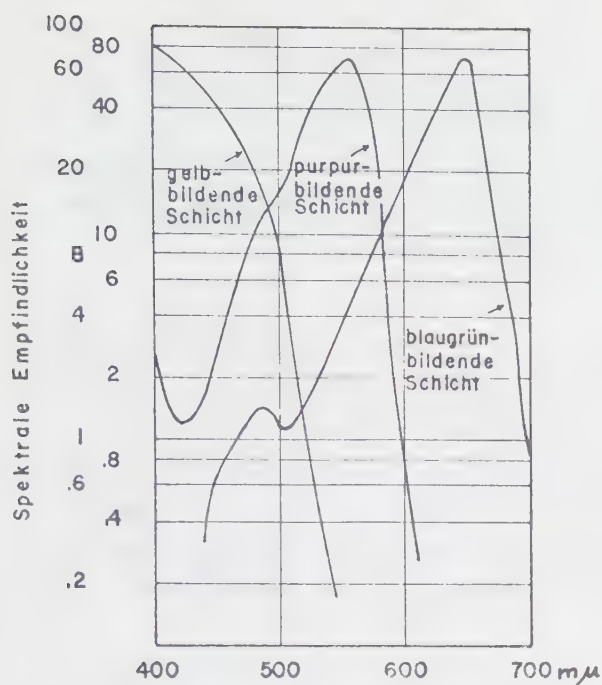
Neben dem erwähnten Normalfarbenfilm liefert der Falschfarbenfilm gerade für die Landnutzung, wie auch für die Forstwirtschaft oft bessere Resultate. Fig. 21a und b zeigen die spektralen Empfindlichkeitskurven der einzelnen Farben.

### 6.2.3 Farbtreue

Im dreischichtigen Normal-Farbfilm wird bedingte Farbgleichheit, d.h. Gleichheit der von den Farbreizen erzeugten Farbempfindungen angestrebt. Im wesentlichen muss jedoch zwischen der spektralen Empfindlichkeit der drei Schichten und der spektralen Dichte, welche sich bei der Entwicklung in ihnen aufbaut, unterschieden werden. Die spektrale Dichte wird oft von unerwünschten Nebendichten, die zu einer Farbverfälschung führen, beeinflusst. Die spektrale Empfindlichkeit hingegen ist in der Regel v.a. stark UV beeinflusst, d.h. unsichtbare UV-Strahlung erzeugt sichtbare Farben und damit Farbverfälschungen. Photographische Objektive haben in der Regel eine stark verminderte UV-Durchlässigkeit, sie wirken als Korrekturfilter. Das 15 cm Universal - Aviogon ist z.B. für den Spektralbereich von 450 - 850  $\mu$  mit einem Schwerpunkt bei 588  $\mu$  chromatisch korrigiert (Duddek, 1967). Aber auch bedingte Farbtreue kann nur angenähert erreicht werden, da insbesondere die vier folgenden Faktoren die Farbtreue mehr oder weniger stark beeinflussen bzw. verfälschen<sup>1</sup>.

---

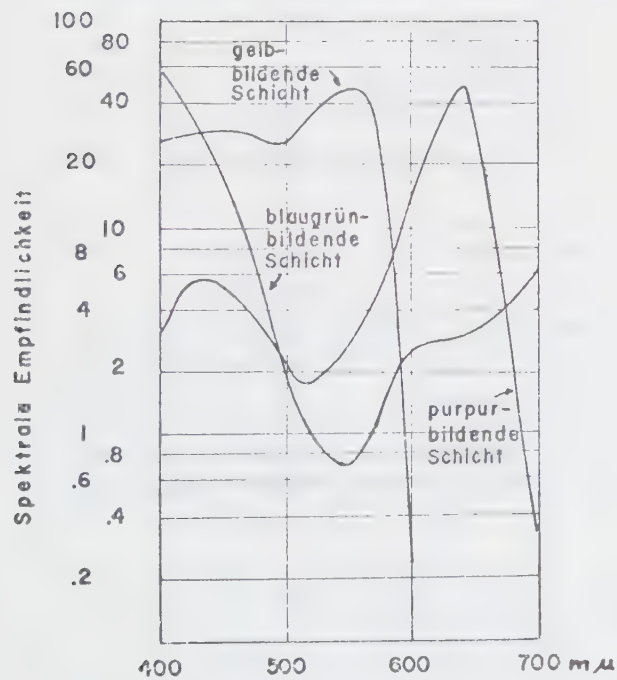
<sup>1</sup> Meier (1967), Corten (1966)



|                 |               |
|-----------------|---------------|
| blauempfindlich | Pos. gelb     |
| Gelbfilter      |               |
| grünempfindlich | Pos. purpur   |
| rotempfindlich  | Pos. blaugrün |

Fig. 21 a Empfindlichkeitskurven des Kodak Farbfilms (nach Tarkington, 1963)

Schematische Darstellung eines mehrschichtigen Farbfilms



|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Infrarotempfindlich | Pos. blaugrün |
| grünempfindlich     | Pos. gelb     |
| rotempfindlich      | Pos. purpur   |

Fig. 21 b Empfindlichkeitskurven des Kodak Falschfarbenfilms (nach Tarkington, 1963)

Schematische Darstellung eines mehrschichtigen Falschfarbenfilms

### 1) Einfluss der Beleuchtung

Bei der Luftaufnahme haben wir zwei Lichtquellen zur Globalstrahlung zusammengefasst. Das Sonnenlicht mit seinem höheren Rot- und das Himmelslicht mit seinem grösseren Blauanteil. In Schattenpartien, wo nur das Himmelslicht hinkommt, erhalten wir eine stärkere Blaufärbung. Witterungsverhältnisse, Höhenlage und Sonnenstand können ebenfalls einen erheblichen Einfluss ausüben, doch kommt es da nur zu einer konstanten Farbverschiebung.

### 2) Einfluss der Objektreflexion

Objekte reflektieren im allgemeinen nicht gleichmässig nach allen Seiten. Die Abweichungen und ihr Einfluss auf den Lichtabfall haben Steiner und Haefner (1965) dargestellt. Die Reflexionsverteilung ist von Meienberg (1966) für einzelne Objekte aufgezeigt worden. Meier (1967) weist auf einige sondierende Untersuchungen in zwei engen Spektralbändern hin. Die Kurven sind ziemlich gleich wie bei Meienberg, der summierend über den sichtbaren Spektralbereich mass. Doch zeigen sich bemerkenswerte Unterschiede für die beiden gemessenen Spektralbänder. Es heisst dies, dass die Objekte in Abhängigkeit vom Reflexionswinkel den Farbreiz und damit ihre Farbe ändern.

### 3) Atmosphärische Einflüsse

Vom Objekt kommend, durchläuft das Licht nochmals die Atmosphäre. Ein Teil wird absorbiert, andererseits kommt noch objektfremdes Licht (Luftlicht) hinzu. Vor allem bei Schrägaufnahmen tritt der Einfluss des Bildwinkels in den Vordergrund. Bei guter Sicht ist der Vordergrund angenähert farbtreu, während im Hintergrund sich die Farben kontinuierlich gegen Blau verändern. Bei schlechter Sicht ist der Blauanteil im Hintergrund nicht mehr so gesättigt. Neben Blau wirken noch andere Wellenlängen, was zu einer Verweisslichung des Bildhintergrundes führt. Hier wird also neben dem Farbton auch die Farbsättigung gemindert.

Sehr eindrücklich zeigen sich an unserem Beispiel Farbverfälschungen, die bei zunehmender Flughöhe auftreten unter Beibehaltung von Ort, Zeit, Objekt, Filter, Film und photographischer Bearbeitung. Der Anteil an diffusem Himmelslicht wird mit zunehmender Höhe immer grösser, was zu einer Blaufärbung des Luftbildes führt.

Trifft ein Lichtstrahl ein kugelförmiges Aerosolteilchen, so erfolgt die Brechung des Lichtes gemäss seiner Wellenlänge in Abhängigkeit von Brechungsindex und Teilchengrösse (Fig. 22 a, b, c). Bei einer Raleigh-Atmosphäre (Teilchengrösse  $r = 1/10 \mu\text{m}$ ) überwiegt der Blauanteil. In der Mie-Atmosphäre (Teilchengrösse  $r = 0,12 \mu\text{m}$ ) ändert sich das Bild. Der Blauanteil dominiert nicht mehr. Unsymmetrien sind stärker, vor allem auf der Sonnenseite. Bei Teilchengrösse ( $r = 0,25 \mu\text{m}$ ) dominiert wiederum Blau. Unsymmetrien sind immer noch auf der Sonnenseite, doch nimmt an ihnen, neben Blau, jetzt auch Rot in nahezu gleicher Höhe Anteil (Meier, 1967).

Unter praktischen Flugbedingungen werden wegen der unterschiedlichen Teilchengrösse und Mehrfachreflexion die Verhältnisse noch wesentlich komplizierter sein.

### 4) Einfluss von Belichtungsunterschieden

Veränderungen in der Belichtung haben auch Veränderungen in der Farbwiedergabe zur Folge. Für die ungleichmässige Lichtverteilung in der Bildebene ist im allgemeinen das Aufnahmeobjektiv verantwortlich. Der Lichtabfall gegen die Ränder erfolgt in der Regel mit dem



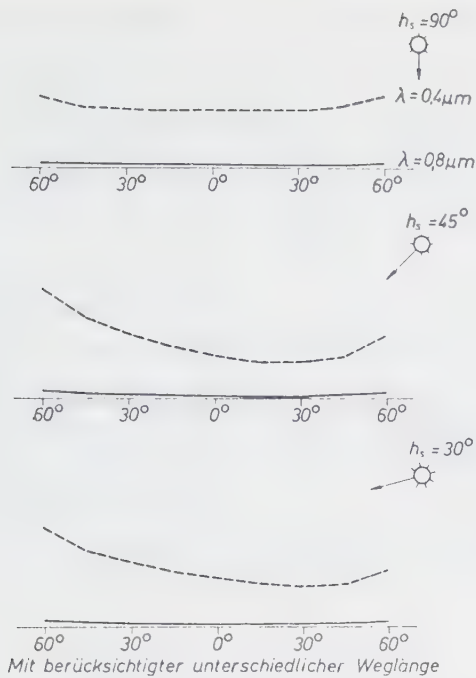


Fig. 22a Rayleigh-Streuung für zwei Wellenlängen und verschiedene Sonnenstände, ermittelt für die Bilddiagonale eines Weitwinkelobjektivs. (aus Meier, 1967 S. 212)

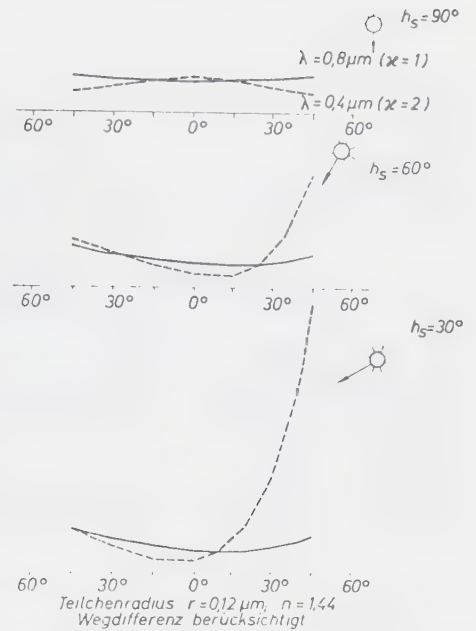


Fig. 22b Mie-Streuung für den Teilchenradius  $0.12 \mu\text{m}$ , zwei Wellenlängen und verschiedene Sonnenstände, ermittelt für die Bilddiagonale eines Weitwinkelobjektivs. (aus Meier, 1967, S. 212)

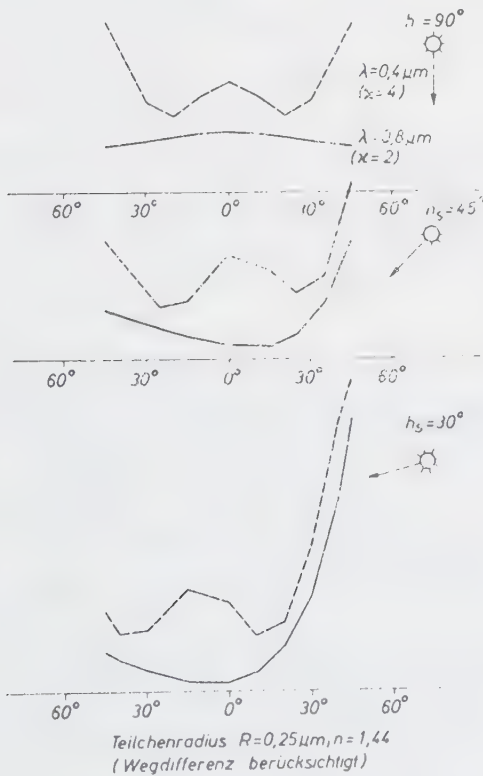


Fig. 22c Lichtverteilung in einem Luftbild nach Densitometermessungen sowie Lichtabfall des Aufnahmeobjektivs. (aus Meier, 1967, S. 213)

$\cos^4 \propto$  des Oeffnungswinkels (d.h. Bildmitte 100%, Rand ca 25%)<sup>1</sup>. Beim Schwarzweiss-Film ist die Länge des geradlinigen Teils der Schwärzungskurve entscheidend (Fig. 23). Man erhält eine lineare je nach Gradation flauere oder kontrastreichere Grauskala. Beim Farbfilm äussern sich der obere und untere Teil der Schwärzungsgeraden nicht bloss in Helligkeitsabstufungen, sondern es wird die Farbsättigung wesentlich mitbeeinflusst. Verläuft die Gradation in allen drei Farbschichten nicht gleichartig, so ändert sich sogar der Farbton. Ein Farbfilm kennt darum praktisch keinen Belichtungsspielraum.

Absolute Farbtreue zwischen Geländeteil und Abbildung ist folglich im Film praktisch unmöglich. Wir müssen mit einer verfälschten Farbdifferenzierung zufrieden sein. Herrscht jedoch in einer Aufnahme eine Farbe vor, d.h. hat die Aufnahme einen Farbstich, der sowohl von der Aufnahme wie auch von der Entwicklungsphase herrühren kann, so geht durch eine allgemein verschlechterte Farbdifferenzierung im gesamten spektralphotometrischen Bereich des betreffenden Films ein Teil der erwarteten Information verloren. In der Schwarzweiss-Photographie macht sich der Farbstich nur als eine Verschiebung der Grauwerte bemerkbar.

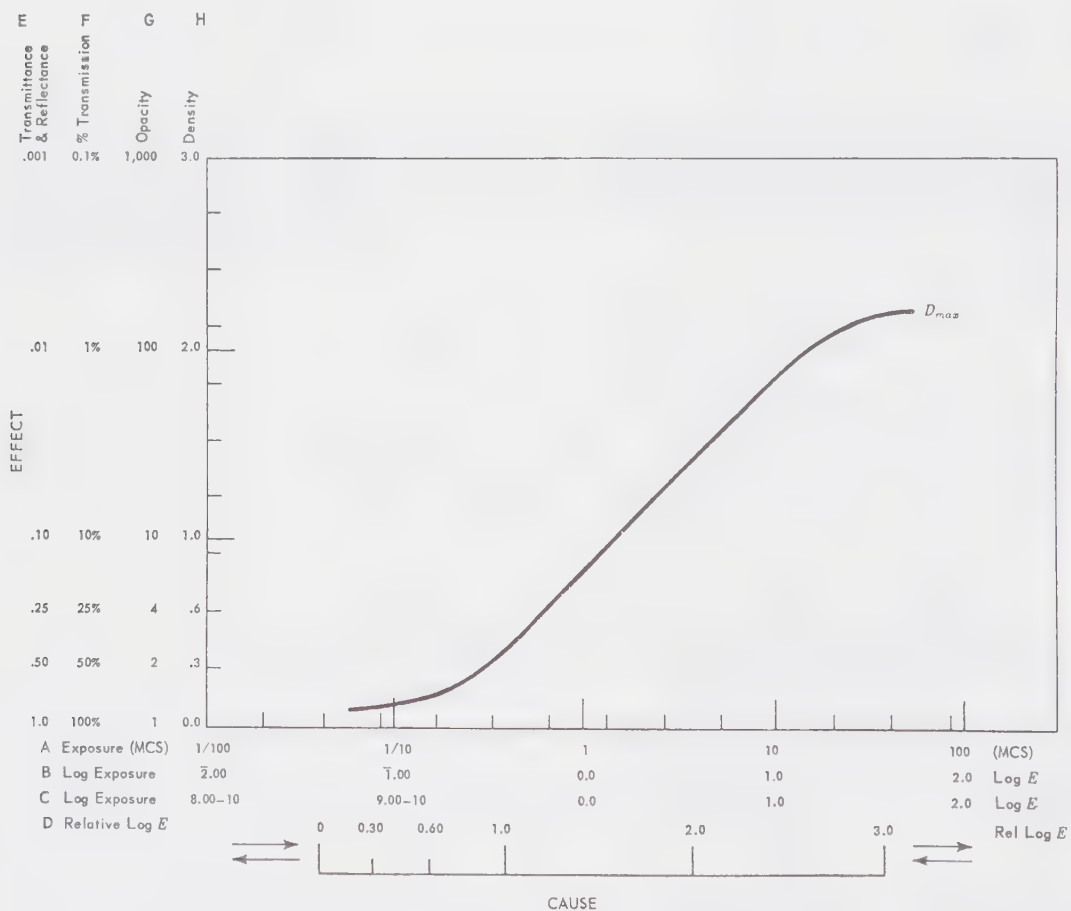


Fig. 23 Schwärzungskurve (aus Manual of Color Aerial Photography, 1968, S. 300)

1 Meier (1967)

## 6.3 Textur

### 6.3.1 Definition

Alle Objekte (Formelemente) unterliegen einer Reihe von Kontrastübertragungsfunktionen, die bei einer Ortsfrequenz von ca 1 Linie/mm einsetzen und zu höheren Ortsfrequenzen hin eine schnell zunehmende Kontrastminderung verursachen (Meienberg, 1966). Die mit Ortsfrequenzen grösser als 1 L/mm im Luftbild erscheinenden Objektdetails, die beim Abbildungsprozess der ortsfrequenzabhängigen Kontrastübertragung des Aufnahmesystems unterliegen und deren Erkennbarkeit von der durch die Körnigkeit der photographischen Schicht bedingten Kontrastschwelle begrenzt wird, werden im optisch-photographischen Sinne als Texturen bezeichnet.

Rosenfeld (1962 a) versteht darunter die lokale Verteilung der Dichte und Dichtekontraste, da sich Texturen aus den feinen Variationen des Grautons, bzw. der Farbdichten innerhalb eines Objektes ergeben.

Steiner (1961) hat den Begriff Textur definiert als eine Anordnung von dunklen Komponenten auf hellem Grund oder umgekehrt.

### 6.3.2 Texturbeeinflussende Faktoren

Wohl bestimmen die Dichte, die Anordnung, die Helligkeit der Objekte und der Kontrast gegen den Hintergrund die Textur. Ob die Textur eines Objekts aber als solche im Luftbild noch erkennbar wiedergegeben wird, ist zusätzlich abhängig von

- der Kontrastübertragung des Aufnahmesystems und der Körnigkeit der Filmemulsion
- den ursprünglichen im Gelände vorhandenen Kontrasten
- der Detailgrösse bzw. Ortsfrequenz, mit der sie im Luftbild wiedergegeben wird, d.h. vom Bildmassstab
- der Beleuchtung des Geländes
- der Lage im Luftbild.

Mit Ausnahme der Detailgrösse, die vom Massstab abhängig ist, sind die übrigen beeinflussenden Faktoren fest gegeben. Der Wahl des Massstabes sollte also hier spezielle Aufmerksamkeit gewidmet werden. Der kleinste Bildmassstab, der wirtschaftlich noch in Frage kommt, richtet sich nach den kleinsten Objekten, die noch mit grösster Wahrscheinlichkeit erkennbar wiedergegeben werden.

Als Auflösungsvermögen wird meistens das Verhältnis der im Bild getrennt erkannten Linien eines regelmässigen Gitters pro Millimeter bezeichnet. Es vermittelt nur Aussagen über die untere Grenze der Erkennbarkeit von Texturen. Die Bildqualität hängt aber weniger von der Erkennbarkeit feinsten Details ab als von der Art der Abbildung gut sichtbarer Strukturen. Hierfür benützt man die Kontrastübertragungsfunktion, d.h. die Güte der Helligkeitswiedergabe.

Die Kontrastübertragungsfunktion als Mass für die Kontrastminderung kleiner Details beschreibt die Verkleinerung der Kontraste eines auf die photographische Emulsionsschicht belichteten Rasters mit sinusförmiger Helligkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz des Rasters (Schwidersky, 1960; Mark, 1963; Meienberg, 1966).

Die Kontrastübertragung ist von der Objektform abhängig. Meienberg (1966) hat das in seiner Arbeit ausführlich beschrieben. Für die Beschreibung verwendet er den Begriff Modulation (M), die er als die auf den Helligkeitswert (m) bezogene Amplitude (a) des Helligkeitsunterschiedes (H) zwischen zwei benachbarten Objekten definiert.



$$M = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\max} + H_{\min}} = \frac{a}{m}$$

Als Modulations- (Kontrast)- Uebertragungsfaktor ( $U_e$ ) wird das Verhältnis von Bild- (b) zu Objekt- (o) Modulation bezeichnet.

$$U_e = M_b / M_o = \frac{a_b / m_b}{A_o / M_o}$$

Zur Bestimmung des Kontrastes verwendet man sehr einfache Objekte, nämlich Linienraster mit hellen Linien auf dunklem Grund mit gleicher Linien- und Zwischenraumbreite und als Mass für die Feinheit der Details die Anzahl der Linien, die auf einer Strecke von 1 mm Platz haben.

Heynacher und Köber (1964) stellten fest, dass das Auflösungsvermögen zur Kennzeichnung der Abbildungsqualität photographischer Objekte ganz allgemein ungeeignet ist. Es stellt nur einen Punkt der Kontrastübertragungskurve dar. Wichtig ist die Kontrastwiedergabe im Bereich kleiner Formelemente, die bei normaler Betrachtung der Bilder mit dem Auge wirklich wahrgenommen werden können.

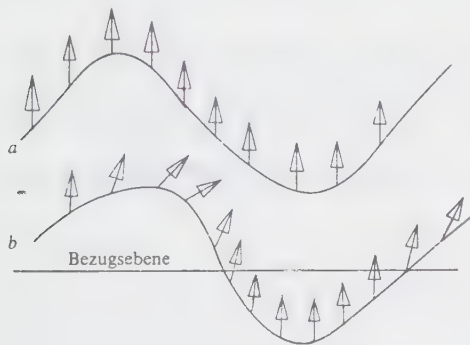
Die Wiedergabe kleiner Details wird vom ursprünglichen Kontrast im Gelände und von ihrer Grösse auf dem Luftbild bestimmt, dann aber auch von der Atmosphäre, die unabhängig von der Detailgrösse zu einer Reduzierung der Kontraste führt. Das Objektiv kann durch Beugung an der Blende, durch Abbildungsfehler, Lichtstreuung usw. die photographische Aufnahme ebenfalls beeinflussen. Auch Vibrationen während der Aufnahme können zu einer unregelmässigen, strichförmigen oder zu einer flächenförmigen Abbildung von Punkten führen (Mark, 1963). Die Bildwanderung kann ebenfalls eine strichförmige Abbildung von Punkten herbeiführen. Frieser (1959) erwähnt noch die Körnigkeit. Das einzelne Korn wirkt nicht störend im Gegensatz zur statistischen Verteilung der Körner, die auf einer gleich belichteten und entwickelten Emulsion Schwankungen verursachen, besonders dann, wenn mit einer sehr kleinen Messfläche gemessen wird (vergl. Mikrodensitometer). Weiter weist Frieser auf die Verwaschung durch den Diffusionslichthof hin. Hier zerstreut sich das auftretende Licht in der photographischen Emulsionsschicht, wobei der Diffusionslichthof entsteht, der die Kontraste kleiner Details vermindert und zwar umso stärker, je kleiner die Detailgrössen sind.

Die Erkennbarkeit einer Textur bei gegebenem Auflösungsvermögen und kleiner werdendem Massstab hört nicht schlagartig an einem bestimmten Punkt auf, sondern sie sinkt innerhalb einer bestimmten Massstabs-Variationsbreite allmählich von 100 auf 0 % ab. Dies hängt damit zusammen, dass die Grenze des Auflösungsvermögens um einen Mittelwert schwankt, wofür man eine normale Verteilung annehmen kann. Diese Streuung kommt wiederum dadurch zustande, dass die Komponenten der als Testobjekte benutzten Texturen in ihren Dimensionen ebenfalls Schwankungen aufweisen und dass sich ferner das Auflösungsvermögen selbst innerhalb der Photos ändert (Steiner, 1961, S. 30ff, Bsp. für Mähstreifen und Kartoffelfurchen). Je grösser der Kontrast zwischen den Texturkomponenten und dem Untergrund, desto bessere Werte erreicht das Auflösungsvermögen (Brock, 1952).

Die Qualität der Textur ist allgemein stark massstabsabhängig, v.a. dann, wenn ihre Anordnung eine streng geometrische Form aufweist und die von ihr eingenommene Fläche 50% oder

weniger der Gesamtfläche umfasst (z.B. Baumreihen, Rebstöcke usw.), denn der Grad der Wahrnehmbarkeit hängt v.a. ab von Form und Dichte der Texturkomponenten. Haben die Texturen eine unregelmässige Form (z.B. in beschreibender Form als "tupfig", "fleckig" usw. bezeichnet, wie bei Hackfruchtäckern), so behält die Textur ihr körniges Aussehen in einer relativ grossen Massstabs-Variationsbreite. Die rundlichen Komponenten, die auf einem grossmassstäbigen Luftbild erkennbar sind, verschwinden zwar allmählich mit kleiner werdendem Massstab, doch schliessen sie sich dann infolge ihrer hohen Dichte wieder zu neuen Kreisformen zusammen.

Weitere Faktoren, die die Textur im Luftbild beeinflussen können, sind die Beleuchtung des Geländes und die Lichtverteilung in der Bildebene (vergl. Mitlicht- und Gegenlichtbereich S.26). Auch die radiale Entfernung vom Bildmittelpunkt kann eine Veränderung der Textur hervorrufen. Infolge der zentralperspektivischen Abbildung werden die einzelnen Geländepunkte nicht lagerichtig abgebildet. Die Bäume, Häuser usw. erscheinen, radial auf den Bildnadir ausgerichtet, nach aussen umzufallen. Gegen den Bildrand verdeutlicht sich dieser Effekt immer mehr. In kuppigem Gelände werden die Formen zudem mit wachsender Geländehöhe stärker "gekippt", in Senken dagegen mehr "aufgerichtet" (Fig.24). Auf diese Art wird Form und Helligkeit der Objekte beeinflusst.



**Fig. 24** Reliefbedingtes Aufrichten bzw. Umklappen von Bäumen im Stereomodell (b) gegenüber der Wirklichkeit (a) unter der vereinfachenden Annahme, dass die Bäume in der Natur senkrecht stehen. (aus Gierloff - Emden, 1970, S. 78)

### 6.3.3 Erfassung der Texturen landwirtschaftlicher Kulturen

Meienberg (1966) weist in erster Linie auf die Tonkontraste hin, mit denen die Textur ausreichend gekennzeichnet sei. Er versteht darunter die Grautonvariationen gegenüber dem Untergrund bzw. der Umgebung. Es müssen also immer Kontraste zwischen den einzelnen Formelementen vorhanden sein. Mannigfaltige Einflüsse beeinträchtigen jedoch die Tönungsabstufungen im Luftbild. Es seien hier die kontrast- und konturenbelebenden Eigen- und Schlagschatten, die unterschiedlichen Reflexionsintensitäten der Geländeobjekte in den verschiedenen bildwirksamen Spektralbereichen usw. erwähnt. In seiner Dissertation untersucht Meienberg (1966) verschiedene Filmsorten (Panchromatischer-, Infrarot- und Farbfilm) mit einem Mikrophotometer von PERUTZ und kommt zum Schluss, dass der Panchromatische Film in der Texturwiedergabe auf Grund seiner besseren Kontrasterzeugung in seinem bildwirksamen Spektralbereich, seiner besseren Kontrastübertragung im Mikrobereich und der geringeren Körnigkeit wegen dem Infrarot-Film überlegen ist. Im Farbfilm hat er gegenüber dem Panchromatischen und Infrarot-Film einen merklichen Verlust an Texturen festgestellt. Die Farbtonwiedergabe verschlechtert sich im Mikrobereich mit abnehmender Teilchengrösse. Er führt dies auf die Kontrastübertragung im Mikrobereich zurück, die bei den zur Zeit verfügbaren Farbfilmen wesentlich

schlechter sei als beim panchromatischen Schwarzweiss-Film

Weitere Merkmale, die zur Kennzeichnung der Textur wesentlich beitragen sind die Form, die Grösse und die Verteilung innerhalb einer Landnutzungseinheit. Steiner (1961) hat hier unterschieden in

- Linientexturen: Sie sind aus Linien oder Streifen gebildet
- Punkttexturen: Sie bestehen aus mehr oder weniger kreisförmigen Komponenten geringer Dimension
- Flächentexturen: Sie sind aus grösseren Komponenten ohne regelmässige geometrische Form zusammengesetzt.

Die Erfassung der Textur stellt grössere Anforderungen als beispielsweise die Erfassung des Grautons, da hiezu Form, Grösse, Verteilung und Kontrast in Betracht gezogen werden müssen. Die Farbe erfordert die zusätzliche Erfassung von Farbton, Helligkeit und Sättigung. Bei der konventionellen Klassifizierung landwirtschaftlicher Kulturen mit Hilfe des Grautons genügt eine Standardskala für die verschiedenen Helligkeitsabstufungen. Beim Farbfilm können neben der Helligkeitsabstufung allenfalls auch noch Farbton und Sättigungsstufen hinzugezogen werden. Nimmt man jedoch die Textur als Klassifizierungsmerkmal, so müssen hier Form, Grösse, räumliche Verteilung, Orientierung und die Tönungskontraste erfasst werden. Die Vielfalt dieser Komponenten und deren Zusammenfügen zu einer Grösse haben bis heute immer Schwierigkeiten bereitet.

Es liegt jedoch auf der Hand, dass die Textur dank der grossen Zahl von Faktoren, die dabei mitberücksichtigt werden, für die Klassifizierung landwirtschaftlicher Kulturen entsprechend günstigere Aussagen ermöglicht. Die Erfassung der Texturen und die Klassifizierung landwirtschaftlicher Kulturen geschieht meistens mit Hilfe eines Interpretationsschlüssels (Auswahlschlüssels), in Form von

- rein subjektiver Beschreibung,
- Vergleichs-Photoausschnitten und subjektiver Beschreibung, oder
- objektiven Messdaten.

Die beschreibende Methode lässt mannigfaltige Möglichkeiten zu. Steiner (1961) unterscheidet beispielsweise tupfige, streifige, linige, wolkige, scheckige, körnige Texturen; Zsilinszky (1963) büschelige, wogende, samtartige, faserige Texturen. Man kann fast sagen, soviele Autoren - soviele Begriffe. Eine einheitliche Klassifikation existiert nicht. Die Schwierigkeiten, die hier für einen Interpreten bestehen, beruhen auf der verschiedenen Auslegung derartiger Eigenschaften.

Die zweite Methode mit Hilfe von Photoausschnitten (Texturkatalogen) erleichtert die Gliederung einzelner Texturen erheblich. Sie kann noch zusätzlich mit statistischen Angaben kombiniert werden, wie Häufigkeitsverteilung, Grenzwerte usw. Die Aufstellung derartiger Schlüssel erfordert einen grossen Aufwand, doch sind sie viel weniger subjektiv als die blosser Beschreibung. Der Interpret hat hier die Möglichkeit zu vergleichen, wobei die Berufserfahrung noch stark mitspielt. Je nach Verwendungszweck kann der Schlüssel nach bestimmten Objekten (z. B. Zwiebeln) untergliedert werden, die dann im Schlüssel nach Massstäben, Filmtyp und Jahreszeit variiert werden sollten. Umgekehrt kann aber auch ein bestimmter Film angesprochen werden und alle möglichen Objekte bei bestimmtem Massstab und bestimmter Jahreszeit aufgeführt werden. Beispiele dazu finden sich bei Steiner (1961), Haefner (1963) und Meienberg (1966).



Die dritte Methode zur Erfassung von Texturen, wäre die objektive Messmethode, wie sie in dieser Arbeit Anwendung findet.

Steiner weist schon 1962 auf die Wichtigkeit objektiver Messmethoden hin, v.a. im Hinblick auf eine quantitative Auswertung. Meienberg (1966) hat versucht landwirtschaftliche Nutzung mit Hilfe eines Mikrophotometers zu erfassen. Dieser tastet das Luftbild durch einen kleinen Messspalt entlang einem Messprofil mit konstanter Geschwindigkeit ab und zeichnet die Schwärzungs- bzw. Farbdichteschwankungen auf einem mit verschiedenen einstellbaren Vorschubgeschwindigkeiten ablaufenden Registrierpapier auf (Fig. 25). Der Messspalt des verwendeten PERUTZ - Mikrophotometers wurde auf  $2 \mu \cdot 75 \mu = 150 \mu^2$  eingestellt, wobei bei dieser Spaltgrösse eine starkes Kornrauschen festzustellen war (d.h. durch die Körnigkeit des Films verursachte Schwärzungsschwankungen). Weitere mikrophotometrische Untersuchungen sind von Doverspike Flynn und Heller (1965), ebenfalls für die Landnutzungsinterpretation vorgenommen worden, hier speziell an Farbaufnahmen. Das Resultat war nicht sehr befriedigend. Die Differenzierung der Geländeobjekte im Farbfilm war ungenügend. Ferner hat Rosetti (1967) für Vegetationsaufnahmen ein Mikrodensitometer verwendet, wie auch Akça (1970) für forstliche Untersuchungen. Er versuchte Fichten- und Buchenbestände verschiedenen Alters auf Schwarzweiss-Luftbildern zu differenzieren. Die Ergebnisse sind sehr positiv, obwohl nur eine beschränkte Anzahl von verschiedenen Objekten untersucht werden konnte (Fig. 26). Akça sieht in der Anwendung von Farbfilmen oder gar Falschfarbenfilmen grössere Differenzierungsmöglichkeiten. Messspalt, Vergrösserungsverhältnis und Bildmassstab können die Resultate wesentlich beeinflussen. Systematische Untersuchungen darüber sind jedoch unseres Wissens noch nicht durchgeführt worden.

Bei allen diesen mikrophotometrischen bzw. mikrodensitometrischen Messmethoden ergibt die Registrierung eine - wenn auch oft sehr unregelmässige - sinusförmige Kurve. Eine derartige Kurve kann nun mathematisch durch die mittlere Dichte, die Extremwerte der Dichte, die Amplitude und die Frequenz definiert werden. Die mittlere Dichte entspricht dabei dem bei Densitometermessungen gewonnen Helligkeitswert. Die übrigen Parameter charakterisieren die Grautonvariationen, d.h. die Textur. Diese zusätzlichen Informationen kennzeichnen den Vorteil der Textur als Interpretationskriterium. Die Extremwerte spielen insofern eine Rolle, als sie bei sehr groben Texturen wie z.B. Baumreihen einen relativ genauen Dichtewert der einzelnen Bäume bzw. der hellen Zwischenräume ergeben. Bei Messungen mit dem Densitometer erhält man eine mittlere Dichte für ein ganzes Feld, also Bäume und Zwischenräume (nackter Erdboden, Gras, Unkraut usw.). Die durchschnittliche Frequenz, d.h. der Abstand der Schwingungen ist ein Mass für die Feinheit der Textur. Damit lassen sich grobe und feine Strukturen gut unterscheiden, z.B. Felder mit Obstbäumen und Felder mit Gemüse. Die Amplitude stellt die Kontrastunterschiede entlang der abgetasteten Linie dar.

Eine weiter Möglichkeit bietet der Isodensitracer (Pearce, 1968). Er gibt ein gutes Bild über Flächen gleicher Dichte. Die ausgedruckte Signatur entspricht aber nicht einer bestimmten absoluten Dichte, sondern es werden nur die Unterschiede zur nächst grösseren oder kleineren Dichtestufe eingetragen. Ein Vergleich mehrerer Felder wird deshalb schwierig.

Maurer (1971) hat bei ZEISS ein neues Gerät entdeckt, das ZEISS - Scanning - Microscope - Photometer 05, bekannt als CYTOSCAN, das erstmals eine flächenhafte Erfassung der Textur gestattet.

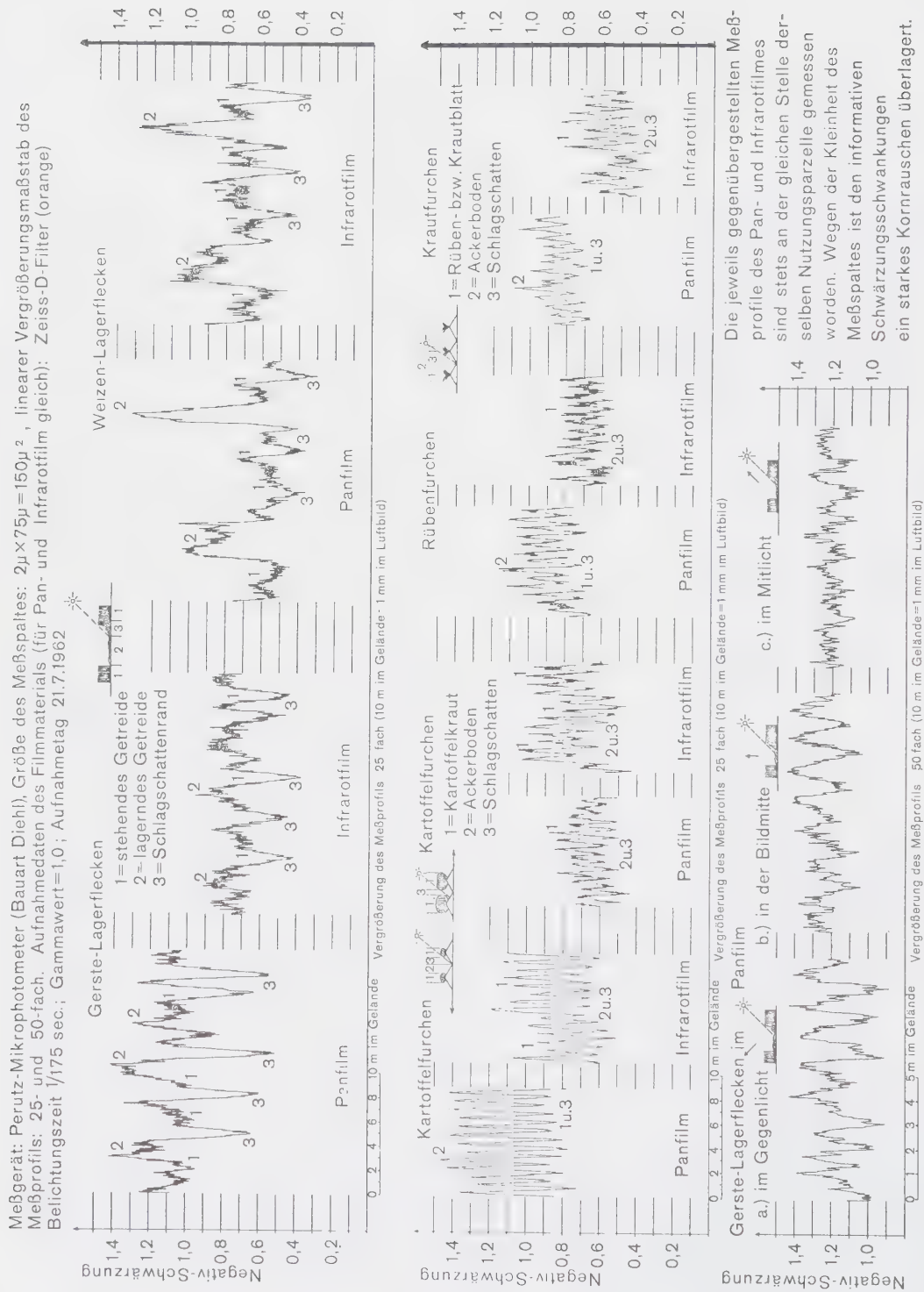
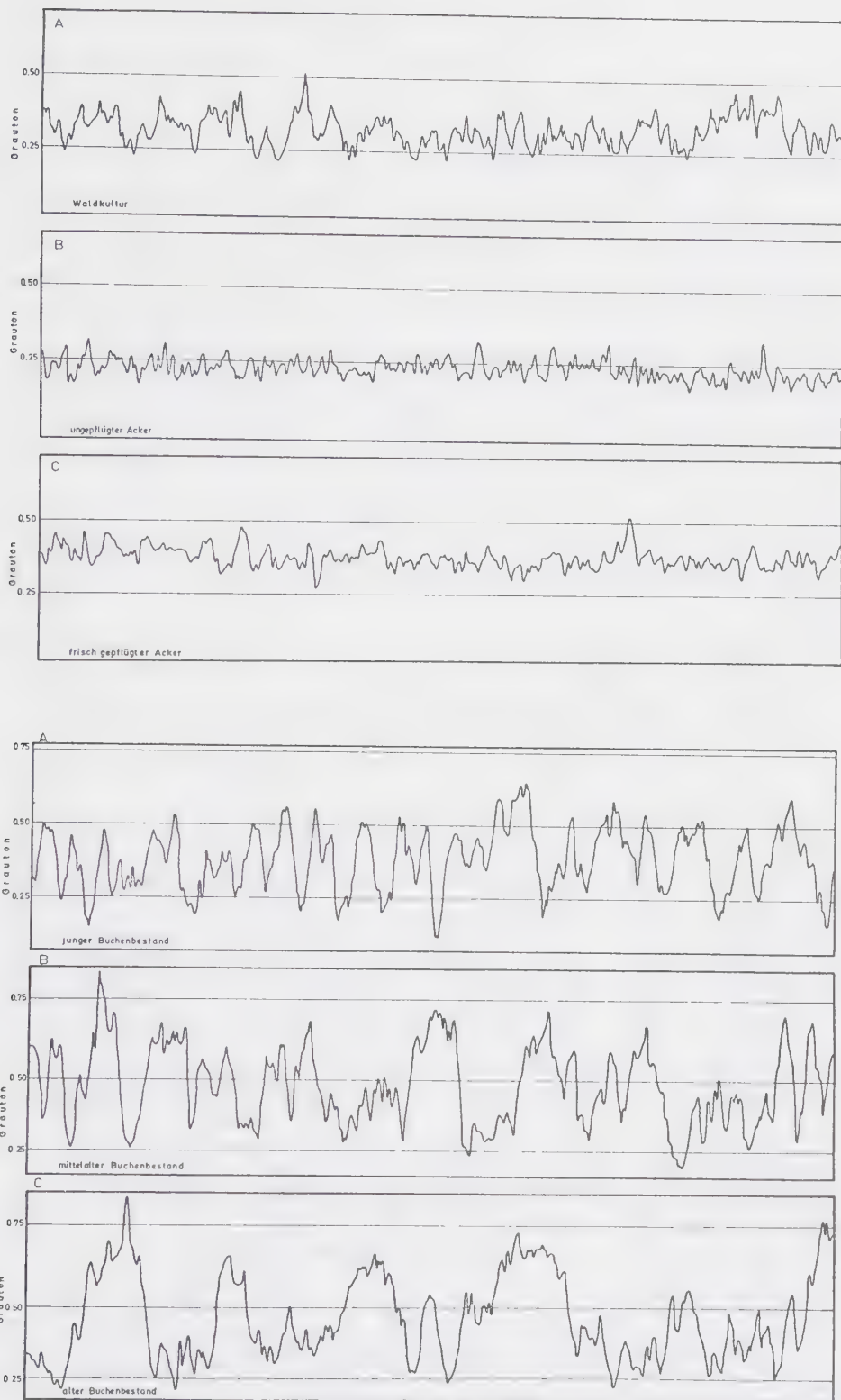


Fig. 25 Mikrophotometrische Messungen an Feinstrukturen im Pan- und Infrarotfilm (aus Meienberg, 1966, Tafel 2)



**Fig. 26** Mikrodensitometer - Aufzeichnungen photographischer Texturen  
(aus Akça, 1970, S. 90ff)



#### 6.4 Kronenformen der Baumkulturen

Allgemein sind Bäume von der Seite besser zu identifizieren als senkrecht von oben. Doch gibt es, wie in verschiedenen forstwirtschaftlichen Arbeiten dargelegt wurde, auch für bestimmte Waldbäume typische Kronenformen (Sayn-Wittgenstein, 1967; Zsilinszky, 1964). Die typische Kronenform (Fig. 28), wie sie bei Waldbäumen auftritt (sternförmig, rund, zackig usw.), findet sich bei Fruchtbäumen weniger. Einzelstehende Fruchtbäume zeigen in der Regel eine runde Form, die jedoch je nach Art in ihrem Durchmesser variieren kann (Erb, 1967)(Fig. 27). Beim hochstämmigen Feldobstbau, wie er im schweizerischen Mittelland noch vielfach anzutreffen ist, liessen sich bestimmt auf Grund des Kronendurchmessers einzelne Obstbaumarten unterscheiden. In der intensiv genutzten Zone des Mittelwallis variiert die Baumform innerhalb einer einzelnen Kultur je nach Sorte, Anbauart und Alter sehr stark. So findet man beispielsweise bei den Apfelbäumen fast nur Niederstämme, z.T. an Spalieren gezogen, was eine längliche Kronenform, die meistens mit derjenigen des nebenstehenden Baumes zusammenfällt, zur Folge hat; daneben sieht man aber auch einzelstehende Apfelbäume, mit runder Kronenform die je nach Alter und Höhe des Bestandes verschiedene Durchmesser aufweisen (Palmiten, Pyramiden vergl. S. 16). Diese Vielfalt von Kronenformen innerhalb einer Obstart und das Auftreten der gleichen Formen in einer anderen Obstart, z.B. bei den Birnen, hat uns veranlasst, die Kronenform bzw. den Kronendurchmesser nicht als weiteres Unterscheidungsmerkmal heranzuziehen.

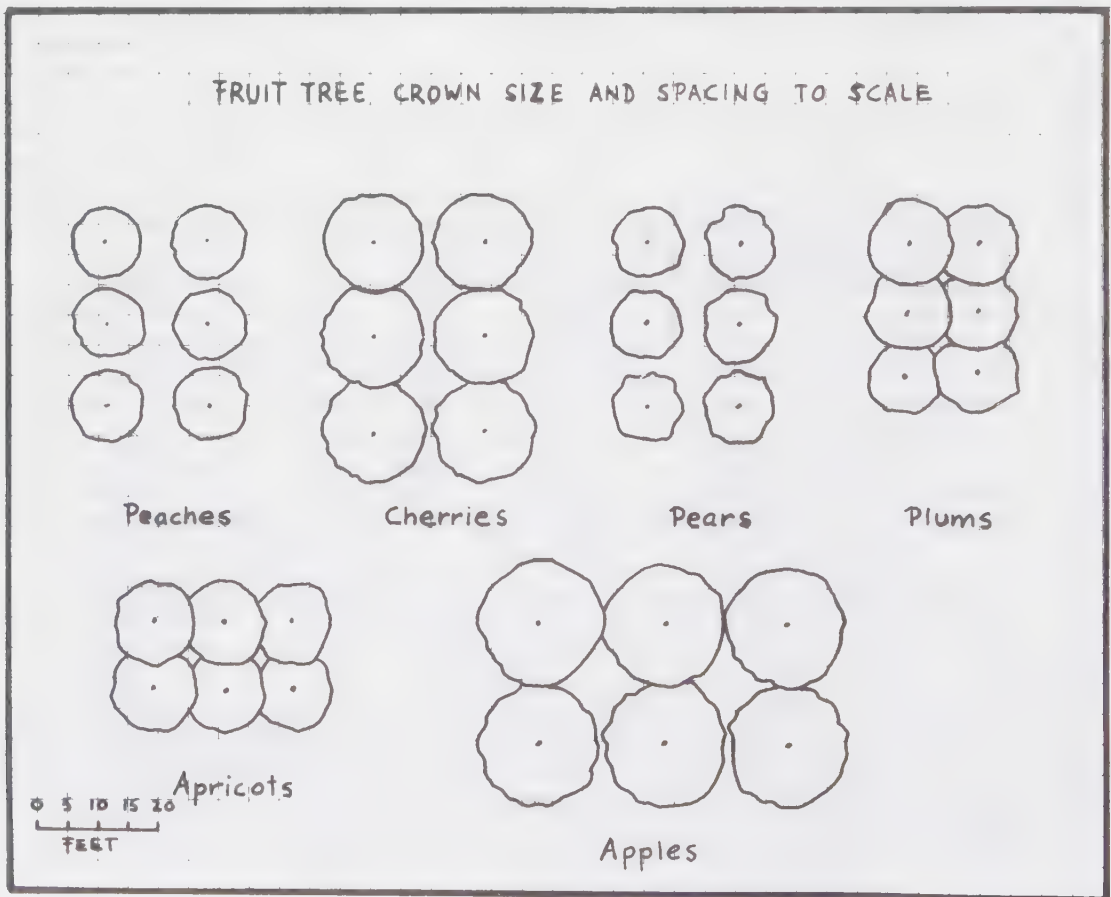


Fig. 27 Kronengrößen und Pflanzabstände verschiedener Obstbäume (aus Erb, 1967)

| Kronenform im Grundriß<br>Kronenaufbau                                                |                                                              |  | Kronen-<br>spitze                       | Krone und<br>Stamm im<br>Aufriß                                                     | Bevorzugte<br>Standorte                               | Ist vergesell-<br>schaftet mit                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|    | "Radspeichen",<br>Äste säulenförmig,<br>dreiecksf. Laubwk.   |  | stumpf                                  |    | frische Böden<br>u. Lehm, begnügt<br>s. mit Sandboden | Kiefern spp.,<br>Zuckerahorn,<br>Picea glauca                                 |
|    | klumpige Anhäufg.<br>d. Äste mit dunklen<br>Flecken          |  | stark<br>abgerundet                     |    | begnügt s. mit<br>Sandboden oder<br>unfruchtbar. Ton  | Kiefern spp.,<br>Zitterpappel,<br>Papierbirke                                 |
|    | feine Strukturen<br>der Tönung, dürre<br>Äste                |  | abgerundet                              |    | lobenförmig,<br>fein u. grob<br>gezähnt               | Zitterpappel,<br>Papierbirke,<br>Picea mariana                                |
|    | Äste in Lagen u.<br>säulenförmig,<br>"Radspeichen"           |  | spitz                                   |    | lobenförmig,<br>fein u. grob<br>gezähnt               | Zitterpappel,<br>Papierbirke,<br>Abies balsamea                               |
|    | Äste in Lagen u.<br>klumpig ange-<br>ordnet                  |  | spitz                                   |    | ausgebuch-<br>tet, fein<br>gezähnt                    | stellt sehr be-<br>scheidene Boden-<br>ansprüche                              |
|    | Kleine helle Flek-<br>ke im Laubwerk,<br>sternenförm. Spitze |  | spitz,<br>sternen-<br>förmig            |    | ausgebuch-<br>tet, fein<br>gezähnt                    | flachgründiger<br>Boden auf Kalk-<br>gesteinen                                |
|    | dicht, kegelförmig,<br>oft mit heller<br>Spitze              |  | scharf<br>zugespitzt                    |    | rund,<br>ganz                                         | hat viele Stand-<br>orte                                                      |
|    | kegelförmig,<br>schmal                                       |  | zugespitzt,<br>alte Bäume<br>abgerundet |    | ausgebuch-<br>tet, fein<br>gezähnt                    | tiefgründiger,<br>feuchter Boden an<br>Papierbirke,<br>Flüssen u. Sumpfen     |
|    | dünnes offenes<br>Laubwerk                                   |  | stark ab-<br>gerundet                   |    | rund, leicht<br>gezähnt                               | Birke, Populus<br>balsamifera,<br>Kiefern spp.                                |
|  | dünnes offenes<br>Laubwk., Stamm<br>oft stark gegabelt       |  | alte Bäume<br>stark ab-<br>gerundet     |  | ausgebuch-<br>tet, fein<br>gezähnt                    | gewöhnlich an<br>Pappel, Pinus<br>banksiana,<br>Flüssen und in<br>Niederungen |
|  | säulenförmige<br>Äste                                        |  | flach,<br>fein u. unbestimmt<br>gezähnt |  | ausgebuch-<br>tet, fein u. unbestimmt<br>grob gezähnt | hat viele Stand-<br>orte, bevorzugt<br>Fraxinus nigra,<br>Tsuga canadens.     |

Fig. 28. Hinweise zur Identifizierung und Interpretation von Holzarten auf grossmassstäbigen Luftbildern  
(Heller, 1964, Sayn-Wittgenstein, 1960 und Zsilinszky, 1963)

Wäre eine einheitliche Anbauart im Untersuchungsgebiet anzutreffen, dann würde sich die Messung des Kronendurchmessers, wenn auch nicht als ausschliesslicher, so doch als wichtiger Parameter anwenden lassen. Methoden dazu sind in der Forstwirtschaft schon seit längerer Zeit bekannt.

Zur eigentlichen Kronendurchmesserbestimmung benutzte Jensen (1948) eine transparente Folie mit grossen und kleineren Kreisen oder mit einem Winkel, unter Berücksichtigung des Massstabes. Bei der Kreisvergleichsmethode ergaben sich eher zu kleine, bei der Winkelmessungsmethode eher zu grosse Werte (Fig. 29a und b)

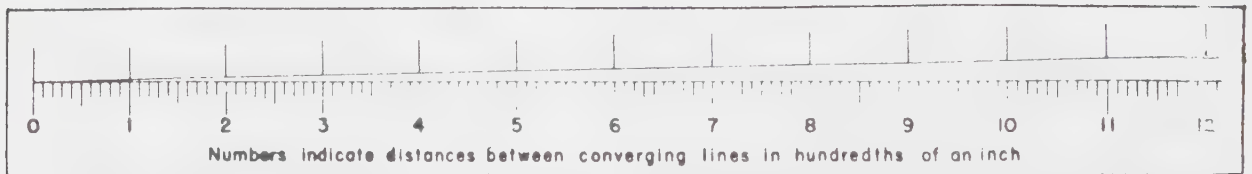


Fig. 29a Kronendurchmesser-Bestimmung mit der Winkelmessungs-Methode (aus Jensen, 1948)

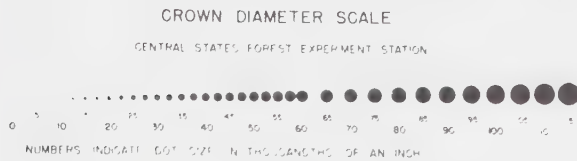


Fig. 29b Kronendurchmesser-Bestimmung mit der Kreisvergleiches-Methode (aus Jensen, 1948)

Eine moderne Methode verwendet den Teilchengrössenanalysator von ZEISS. Ein in der Grösse veränderlicher, runder Lichtfleck beleuchtet das Detail, d.h. die Baumkrone. Nach Abgleichung von Lichtfleck und Detailgrösse wird das Detail markiert und gleichzeitig in der betreffenden Grössenklasse gezählt. Bei der Berechnung der Texturdichte  $D$  (Texturanzahl  $x$  pro Testfläche) ist der Massstab  $m_b$  des Luftbildes an der betreffenden Teststelle zu ermitteln. Bei einer Testflächengrösse  $F$  im Luftbild ergibt sich die wirkliche Bodenfläche  $F'$  zu

$$F' = F \cdot m_b^2$$

Die Dichte ergibt sich aus

$$D = \frac{x}{F'}$$

(Kurth, 1962)

## 6.5 Stereoskopisches Aussehen

Steiner (1961) definiert den Stereoeffekt als das Kriterium, ob ein Objekt bei der stereoskopischen Betrachtung im Luftbild räumlich erscheint oder nicht. Bei der künstlichen stereoskopischen Betrachtung von Luftbilder erscheint dem Betrachter das Gelände unnatürlich überhöht.



Goodale (1953) gibt für die Ueberhöhung folgende Formel:

$$U_e = \frac{d(a + s)(b + \Delta p)}{f(a + v \cdot \Delta p)}$$

wobei  $b$  die Photobasis,  $d$  die Betrachtungsdistanz,  $s$  die Separierungsdistanz der Bilder,  $a$  die Augenbasis,  $f$  die Brennweite der Kamera,  $v$  der Vergrößerungsfaktor des Stereokops und  $p$  die Parallaxdifferenz ist.

Wird bei stereoskopischer Betrachtung den Augen ein Messmarkenpaar, d.h. jedem Auge eine Marke dargeboten, so verschmelzen beide zu einer, im virtuellen Raumbild schwebenden Messmarke. Wird ihr Abstand, d.h. ihre Parallaxe variiert, so ändert sich die Höhenlage der Messmarke im Raummodell. Die Abstandsänderung der Marken, ihre Parallaxdifferenz, ist ein Mass für die Höhenänderung beider Punkte. Durch solche Abstandsänderungen und Verschiebungen der Messmarken kann das virtuelle Raummodell ausgemessen werden, d.h. Höhenunterschiede im Gelände oder Objekthöhen können auf diese Art ermittelt werden.

Die Höhendifferenz ergibt sich aus der Formel

$$h = \frac{H \cdot \Delta p}{b + \Delta p}$$

wobei  $H$  = Flughöhe,  $b$  = Photobasis,  $p$  = Parallaxdifferenz ist.

Die Feinheit, mit der Winkelunterschiede und damit räumliche Tiefen wahrgenommen werden, ist etwa doppelt so gross wie beim monokularen Sehen. Dieser Wert heisst stereoskopische Sehschärfe und variiert individuell (Schwidesky, 1963). Der Stereoeffekt, d.h. die räumliche Erkennbarkeit von Höhen im Luftbild, tritt jenseits einer Schwelle, der Stereoschwelle  $h_{\min}$  ein. Diese ist abhängig von der Brennweite der Aufnahmekammer  $f$ , der Photobasis  $b$  (wobei  $b = s(1-d)$ ,  $s$  = Photosseitenlänge,  $d$  = Ueberdeckungsgrad der Luftbilder), vom Massstab  $M$ , der kleinsten noch wahrnehmbaren Parallaxe  $p_{\min}$  und der Vergrößerung des Betrachtungsgerätes  $v$  ab. Es ergibt sich folgende Formel:

$$h_{\min} = \frac{f \cdot M \cdot v \cdot p_{\min}}{b} = \frac{f \cdot M \cdot v \cdot p_{\min}}{s(1-d)}$$

(Aschenbrenner, 1950)

Die Stereoschwelle ist also die kleinste Objekthöhe, die im Luftbild (Stereobild) bei gegebenem Massstab mit 50% Wahrscheinlichkeit noch erkannt werden kann. Steiner (1961) hat die Stereoschwelle und die minimale erkennbare Objekthöhe an landwirtschaftlichen Kulturen (Pflanzenwuchshöhen) berechnet. Er ermittelte für eine individuelle Parallaxe von 0,048 mm eine minimale (abhängig vom Massstab  $M$ ) erkennbare Objekthöhe  $h_{\min} = 5,82 \cdot 10^{-3} \cdot M$  cm (Fig. 30). Benutzt man die von Steiner errechnete Stereoschwelle als Richtwert, so ergeben sich für die untersuchten Massstäbe folgende minimale erkennbare Objekthöhen:

|            |                     |
|------------|---------------------|
| 1 : 5'000  | $h_{\min} = 30$ cm  |
| 1 : 12'000 | $h_{\min} = 70$ cm  |
| 1 : 25'000 | $h_{\min} = 145$ cm |

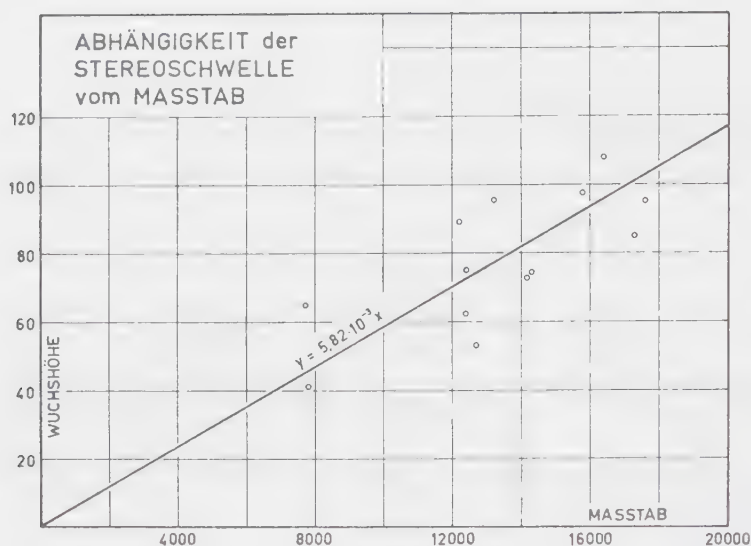


Fig. 30 Die Abhängigkeit der Stereoschwelle vom Massstab (aus Steiner 1961, S. 39)

Die Untersuchungen haben diese massstäbliche Stereoschwelle von Steiner weitgehend bestätigt. Sie konnte teilweise noch unterschritten werden, doch darf hier der starke subjektive Einfluss nicht unterschätzt werden.

Theoretisch könnten also die Höhenunterschiede für viele landwirtschaftliche Kulturen aus dem Luftbild ermittelt werden. Die Höhenunterschiede sind jedoch mit Ausnahme der Baumkulturen recht klein; die Höhen innerhalb einzelner Kulturen ausserdem sehr unterschiedlich, bedingt durch die verschiedenartigen und verschieden alten Bestände. Hinzu kommen die zu erwartenden Fehler bei Messungen mit dem Stereomikrometer. Erfolgreiche Aussagen, ausser bei relativ grossen Massstäben, sind daher kaum möglich.

## 7. Quantitative Erfassung der Dichte im Farb- bzw. Schwarzweiss-Bild

Aus der Vielzahl der oben erwähnten Möglichkeiten wurde die Messung der Dichte - spektral unterteilt - gewählt, da am Geographischen Institut der Universität Zürich ein entsprechendes Gerät zur Verfügung stand.

### 7.1 Gerät

Das Densichron-Densitometer der Firma WELCH Scientific Company besteht aus zwei Teilen, dem Densitometer und dem Photometer (Fig. 31).

Das Densitometer (der Durchsichtsmessteil) besteht aus einem Metallgehäuse, in dem sich Spannungsregler, Transformatoren, Beleuchtungslampe, Filtrerrad, Umfeldbeleuchtung und verschiedene Regler und Steckdosen befinden. Ueber dem Gehäuse ist ein langer Arm angebracht, an dem der Densichron-Messkopf befestigt ist. Der Arm mit dem Messkopf steht mehrere Zentimeter über der Blende, sodass das Messobjekt frei bewegt werden kann. Eine einstell-

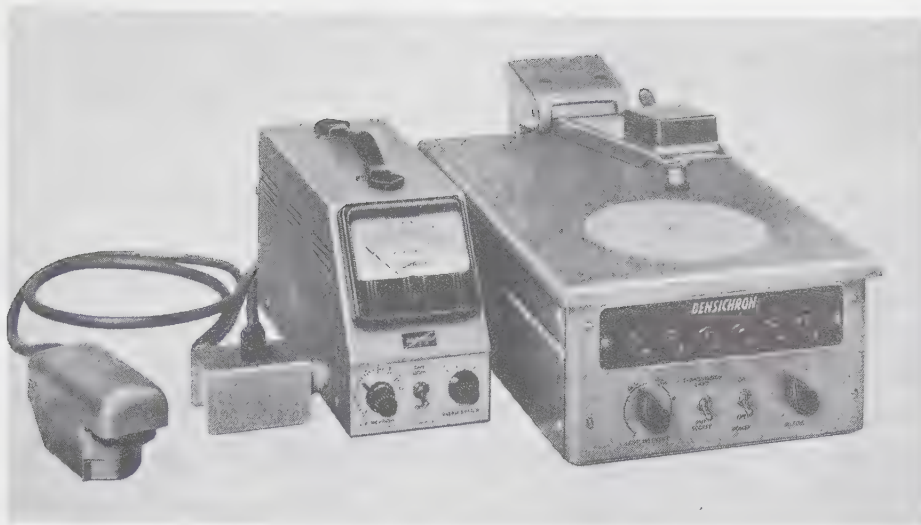


Fig. 31 Densichron-Densitometer der Firma WELCH Scientific Company

bare elastische Feder hält den Arm in dieser Stellung. In der Deckplatte des Durchsichtsmessteils sitzt eine grosse beleuchtete Opalglasplatte zur Betrachtung der Negative oder Positive, um die Messstelle besser auffinden zu können.

Die Messblende in der Mitte ist auswechselbar. So können Blenden verschiedener Grösse und verschiedenen Typs verwendet werden. Wenn der Arm mit dem Messkopf zur Messung heruntergedrückt wird, wird die Umfeldbeleuchtung automatisch abgeschaltet und nur der Lichtpunkt in der Messblende bleibt hell. Die Helligkeit der Beleuchtungslampe für die Messblende kann mit dem Helligkeitsregler verändert werden.

Die Blende kann in der Grösse entsprechend der Grösse der kleinsten Messfläche ausgewählt werden. Die Wahl einer kleineren Blende bedeutet natürlich, dass weniger Licht zur Verfügung steht. Je kleiner die Messfläche gewählt wird, desto zufälliger wird das Resultat. Dieses ist vielfach nicht mehr repräsentativ für die Gesamtfläche. Der Maximal-Dichtebereich wird nur bei Verwendung einer relativ grossen Blende ( $> 3$  mm) erreicht. Die Lokalisierung der Messfläche bei starker Parzellierung kann gelegentlich Schwierigkeiten verursachen und muss sehr sorgfältig vorgenommen werden, da sonst Fehler auftreten können (vergl. S. 32). Die durchsichtigen Blenden erleichtern es in vielen Fällen, die Messfläche aufzufinden, zu starkes Ober- oder Seitenlicht kann hingegen störend wirken. Man arbeitet darum am besten in gedämpftem Licht und verwendet anstelle der durchsichtigen Blenden solche aus geschwärztem Aluminium.

Auf der Vorderseite des Gerätes befindet sich ein sechsstufiger Schalter für Farbfiltermessungen. Jede Stellung schaltet einen anderen Filter und einen anderen Abschwächer ein. Diese Abschwächer können so eingestellt werden, dass jeder Filter seine Null-Einstellung erhält. Sie sind alle auf den Dichtewert Null einstellbar. Man hat somit die Möglichkeit, farbige Diapositive auszumessen und erhält die Dichtewerte der einzelnen Farbanteile.

Es wurden folgende Auszugs-Filter verwendet:



- Rot-Filter, Kodak Wratten Nr 92 (620 - 700 mμ)<sup>1</sup>
- Grün-Filter, Kodak Wratten Nr 99 (520 - 600 mμ)<sup>1</sup> und  
Grau-Filter Nr 96 und 0,4D + 0,2 D
- Blau-Filter, Kodak Wratten Nr 98 (390 - 500 mμ)<sup>1</sup> und  
Grau-Filter Nr 96 und 0,4D + 0,2 D

Dieser Durchsichtsmessteil ist wegen seiner grossen Lichtstärke und der Infrarot - Absorption für Durchsichtsfarbdichtemessungen besonders gut geeignet.

Die Messskala (Fig. 32) auf dem Photometer gibt die optische Dichte an. Der Dichte 0,0 entspricht 100% Lichtdurchlässigkeit, der Dichte 1,0 noch 10% und der Dichte 2 noch ganze 1%. Die Messskala weist eine logarithmische Teilung auf, eine Standardteilung für alle Dichtemessungen an photographischem Material. Die Dichte kann definiert werden als der Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem das Messobjekt erreichenden Licht  $L_e$  und dem das Messobjekt durchdrungenen Licht  $L_a$

$$D = \log \left( \frac{L_e}{L_a} \right) = \log A$$

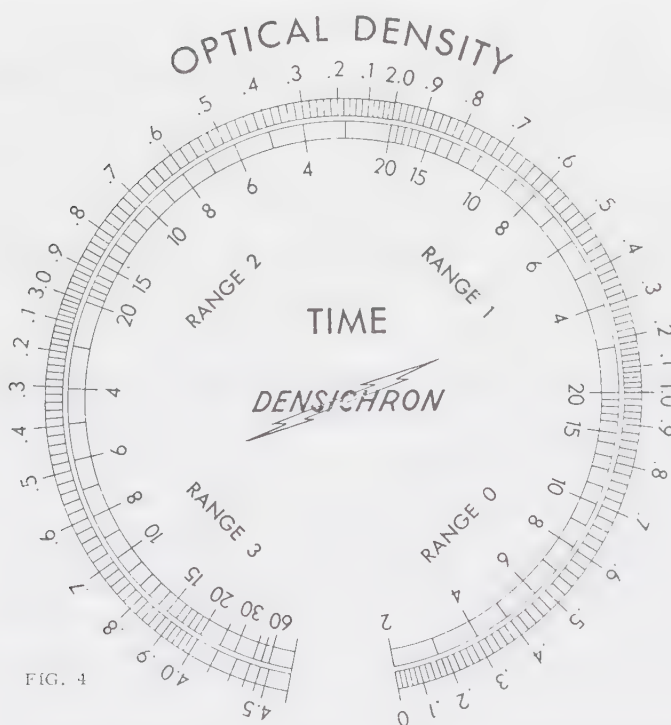


Fig. 32 Messskala des Densichron-Photometers

Der Transmissionskoeffizient  $T$  ist dann  $L_a / L_e$  und die Absorption  $A$  wäre  $1/T$  (Fig. 33).

Es können mit diesem Gerät Dichten zwischen 0,0 und 4,5 gemessen werden. Durch die starke Abschwächung bei Farbfilmernmessungen und durch kleine Blendenöffnungen wird der Umfang aber meist stark eingeschränkt.

<sup>1</sup> Kodak Wratten Filters, 1957 by Eastman Kodak Company

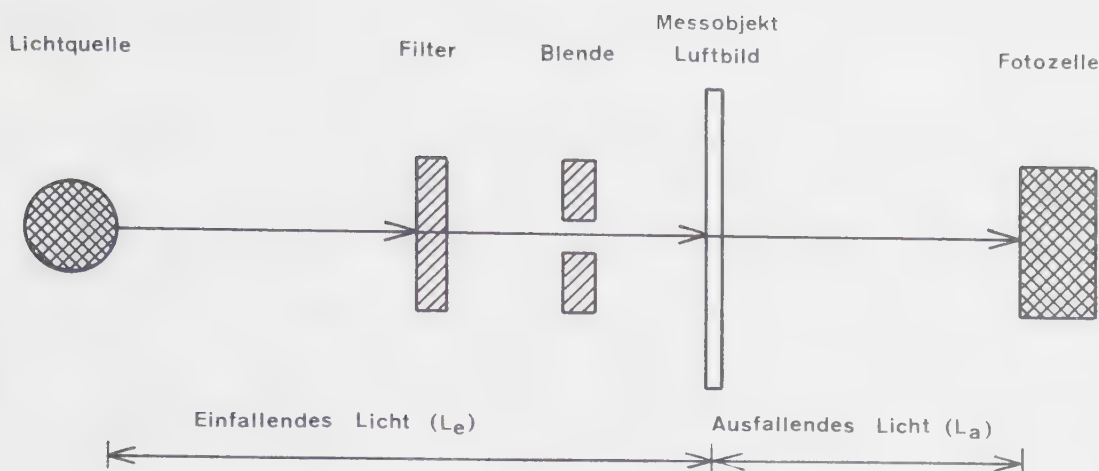


Fig. 33 Schematische Darstellung des optischen Weges beim Densichron-Densitometer

Anmerkungen:

- Bei Messungen auf einem Negativ (Schwarzweiss-Film) ist zu beachten, dass in der Natur dunkle Flächen hell erscheinen und somit eine geringe Dichte aufweisen und reziprok zu den Werten des Farbfilms sind.
- Die mit dem Densitometer gemessenen Werte in den drei Spektralbereichen sind nicht identisch mit den Farbwerten des internationalen Farbsystems (CIE).

7.2 Arbeitsweise

Aus der grossen Auswahl von verschiedenen Kulturen haben wir jene ausgewählt, die auf dem vorliegenden Filmstreifen in genügender Anzahl vorhanden waren, sodass eine statistische Auswertung vertretbar erschien.

Total haben wir 240 Felder untersucht, davon

|    |        |     |                 |
|----|--------|-----|-----------------|
| 40 | Felder | mit | Apfelbäumen     |
| 40 | "      | "   | Birnbäumen      |
| 40 | "      | "   | Aprikosenbäumen |
| 30 | "      | "   | Reben           |
| 30 | "      | "   | Tomaten         |
| 20 | "      | "   | Carotten        |
| 20 | "      | "   | Kohl            |
| 20 | "      | "   | Zwiebeln        |

Um eine umfassende Aussage über eine bestimmte Kultur zu erhalten, wurde auf verschiedene Anbaumethoden oder Sorten keine Rücksicht genommen. Es wurden beispielsweise bei den Birnen Felder mit Spalieranbau neben Feldern mit Palmetten usw. untersucht.

Die Luftbilder lagen beim Farbfilm als Transparent-Positive, beim panchromatischen Schwarzweiss-Film als Negative vor. Die Messung erfolgte also ausschliesslich mit dem Durchsichtsmessteil des Densitometers. Durch Messung der Dichte konnten Helligkeitsabstufungen ermittelt werden. Bei den gemessenen Dichtewerten handelt es sich um relative Dichten. Die absolute Dichte ist nicht evident, da wir nur die 8 ausgewählten Kulturen miteinander vergleichen wollten.

Bei den Messungen auf dem panchromatischen Film erhielten wir pro Messstelle jeweils einen Dichtewert. Beim Farbfilm wurden durch Vorschalten der in 7.1 erwähnten Filter die Dichten der einzelnen Farbkomponenten (Rot, Grün, Blau) gemessen, d.h. pro Messstelle ergaben sich drei Dichtewerte.

Pro Feld wurden je drei Messstellen ausgewählt, möglichst im Zentrum des Feldes, da die Messungen in den Randzonen von den Dichten der Nachbarfelder beeinflusst sein können. Durch die stereoskopische Ueberdeckung im Flugstreifen wurde jedes Feld zweimal berücksichtigt. Es ergaben sich pro Feld 6 Messstellen, deren Einzelergebnisse zu einem Wert gemittelt wurden.

Sehr deutlich zeigt sich dabei jeweils der Unterschied zwischen Mitlicht- und Gegenlichtbereich der einzelnen Luftbilder. Er fällt jedoch nicht stark ins Gewicht, da durch die Bildung eines Mittelwerts zwischen den Messresultaten diese Differenz wieder weitgehend ausgeglichen wird. In Fig.34 versuchen wir diesen Umstand noch zu verdeutlichen. Die Dichte-Messungen aller Felder jeder Kultur auf der Gegenlichtseite (1.Bildhälfte) sind gemittelt und das Resultat in Form einer Kreissignatur dargestellt; genau gleich sind die Messungen aus dem Mitlichtbereich (2.Bildhälfte) eingetragen. Wir sehen hier, dass für die einzelnen Kulturen ein mehr oder weniger konstanter Unterschied auftritt.

Die Auswahl der Felder im Luftbild (Seitenlänge 23 cm) beschränkte sich auf eine Kreiszone von 20 cm Durchmesser mit Zentrum im Bildhauptpunkt. Damit soll die durch den Lichtabfall gegen den Rand hin bedingte Dichteänderung möglichst ausgeschaltet werden (vergl.S.28).

Der Durchmesser der Messblende richtete sich in erster Linie nach dem Bildmassstab und der dadurch bedingten Parzellengrösse. Soweit als möglich wurden die Messblenden ungefähr flächenproportional zum Massstab ausgewählt, um einen echten Vergleich zu erreichen.

Die gewählten Blendenöffnungen betrugen:

|                |             |        |          |                    |
|----------------|-------------|--------|----------|--------------------|
| für M 1: 5'000 | Durchmesser | 3 mm   | , Fläche | $7,1 \text{ mm}^2$ |
| M 1: 12'000    | Durchmesser | 2,3 mm | , Fläche | $4,2 \text{ mm}^2$ |
| M 1: 25'000    | Durchmesser | 1 mm   | , Fläche | $0,8 \text{ mm}^2$ |

Die Grösse der Messöffnung spielte vor allem bei Baumkulturen eine Rolle. Hier konnten sich Dichteunterschiede ergeben, je nachdem, ob prozentual mehr Zwischenräume zwischen den Baumreihen oder mehr eigentliche Baumreihen von der Oeffnung erfasst wurden (Fig.35).

Aus diesem Grund wurde für den Massstab 1: 5'000 noch versucht, die Felder mit der kleinstmöglichen Blende (= 1 mm Durchmesser) zu messen, um bestimmte Ausschnitte besser

---

Legende zu Fig. 34 ff

Ae = Aepfel  
Bi = Birnen  
Ap = Aprikosen  
Re = Reben  
To = Tomaten  
Ca = Carotten  
Ko = Kohl  
Zw = Zwiebeln  
  
FF= Farbfilm  
P = Panchromatischer Schwarzweiss-Film  
  
R = Rotfilter  
G = Grünfilter  
B = Blaufilter



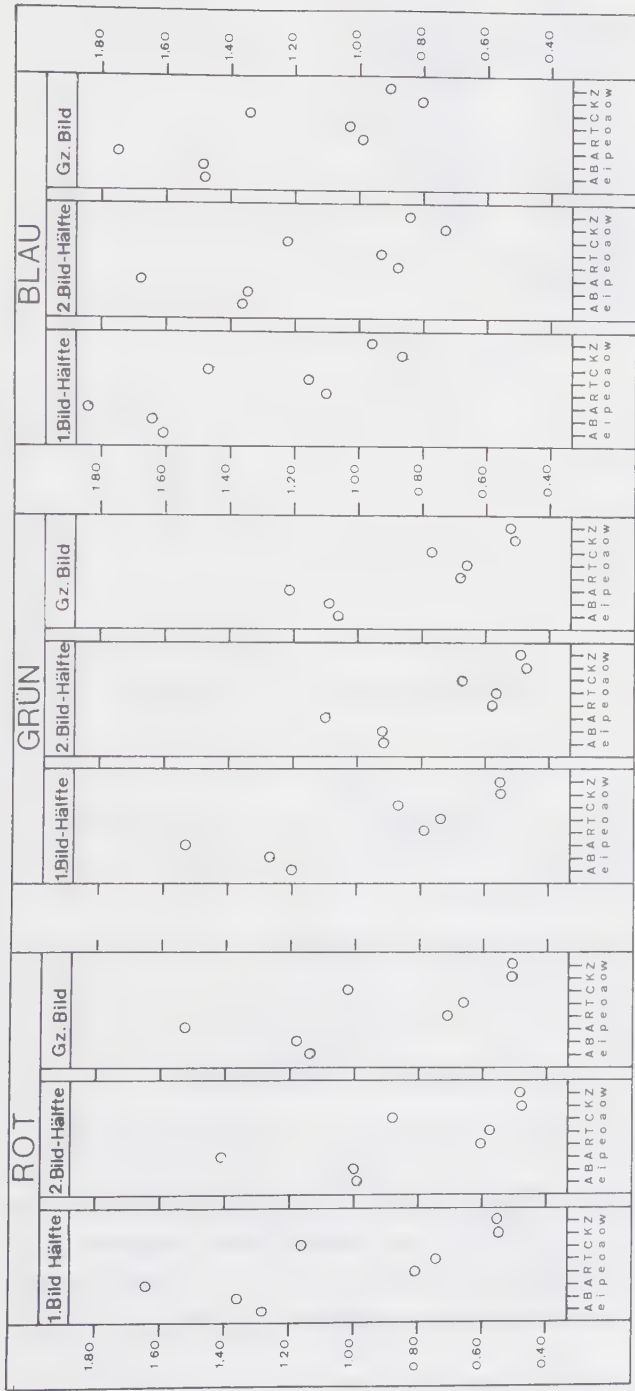
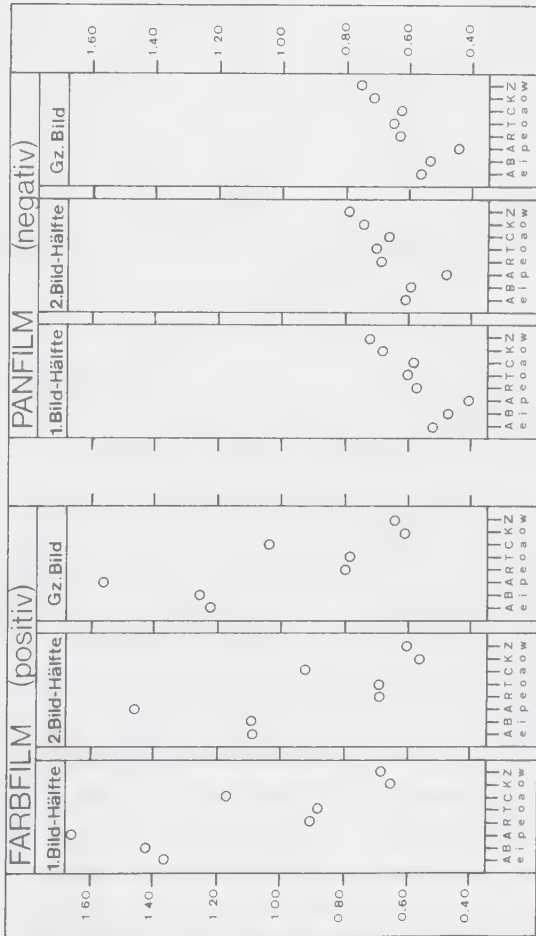


Fig. 34 Mittlere Dichtewerte für verschiedene Kulturen und für verschiedene Filme und Filter  
1. Bildhälfte = Gegenlicht-Seite  
2. Bildhälfte = Mitlicht-Seite



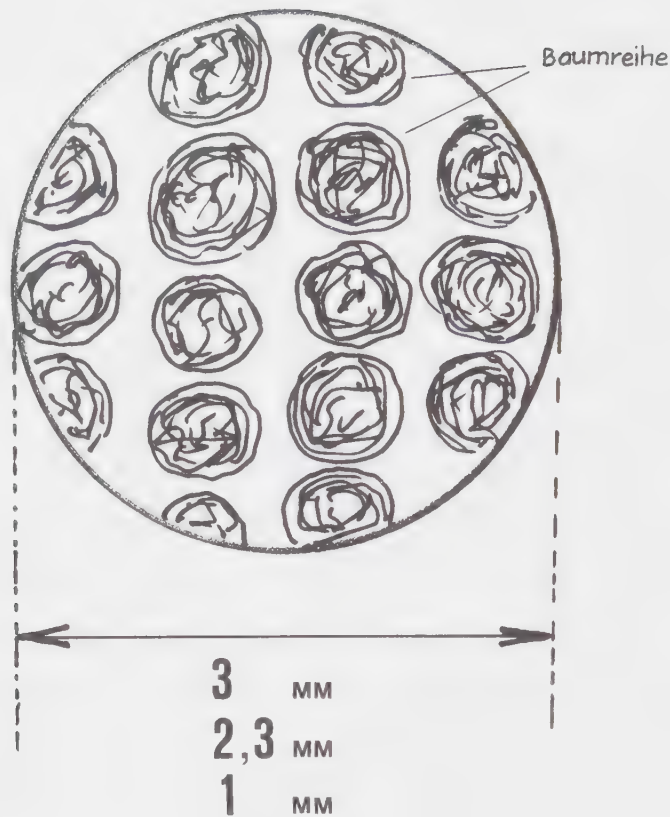


Fig. 35 Schematische Darstellung der Blendenöffnung des Densitometers bei der Messung einer Baumkultur

erfassen zu können. Bei den Baumkulturen achteten wir insbesondere darauf, nur die eigentlichen Kronen zu messen, um den effektiven Dichtewert der eigentlichen Baumbestände zu erhalten. Die Resultate werden in Kapitel 7.3.3 auf S.78 diskutiert.

Die Dichtewerte der einzelnen Kulturen liegen zum Teil sehr eng beieinander. Fig. 36 stellt für das Beispiel eines Farbluftbildes im Massstab 1: 5'000 und Auszugsfilter "Rot" die Häufigkeit der ermittelten Messwerte, in Dichteklassen von 0,1D zusammengefasst, dar (8 Kulturen). Es wurden jeweils die ersten 10 Felder à je 6 Messungen berücksichtigt.

Bei den Baumkulturen überdecken sich Äpfel und Birnen sehr stark, die Aprikosen weisen gesamthaft eine etwas höhere Dichte auf, doch reicht die Kurve immer noch weit in den Bereich der übrigen Baumkulturen hinein. Beim Gemüse liegen Zwiebeln, Kohl und Tomaten sehr eng beieinander, während Carotten zum grössten Teil die gleichen Dichteklassen umfassen wie die Baumkulturen. Reben fallen praktisch in die selben Dichteklassen wie die Tomaten. Während beispielsweise Zwiebeln oder Kohl nur wenige Dichteklassen umfassen, erstrecken sich die Aprikosen fast über das ganze Diagramm.

Eine saubere Trennung war in keinem Fall vorhanden, auch nicht bei den Messungen der übrigen Komponenten des Farbfilms oder beim Schwarzweiss-Film. In Fig. 37 sind die gemessenen Dichten für jede Kultur eingetragen worden. Der Streubereich der Messwerte jeder Kultur

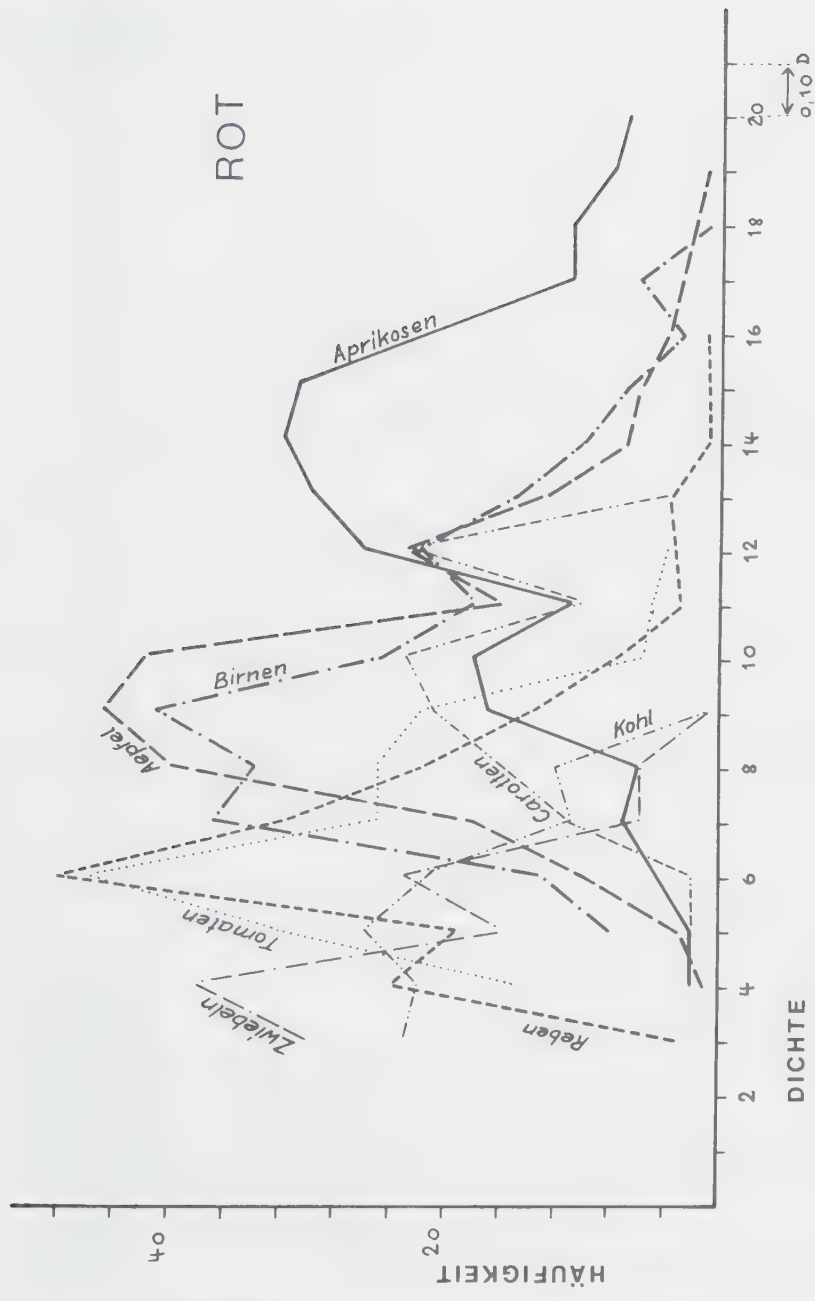


Fig. 36 Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte für verschiedene Kulturen, Farbfilm, Massstab 1 : 5'000, Rotfilter



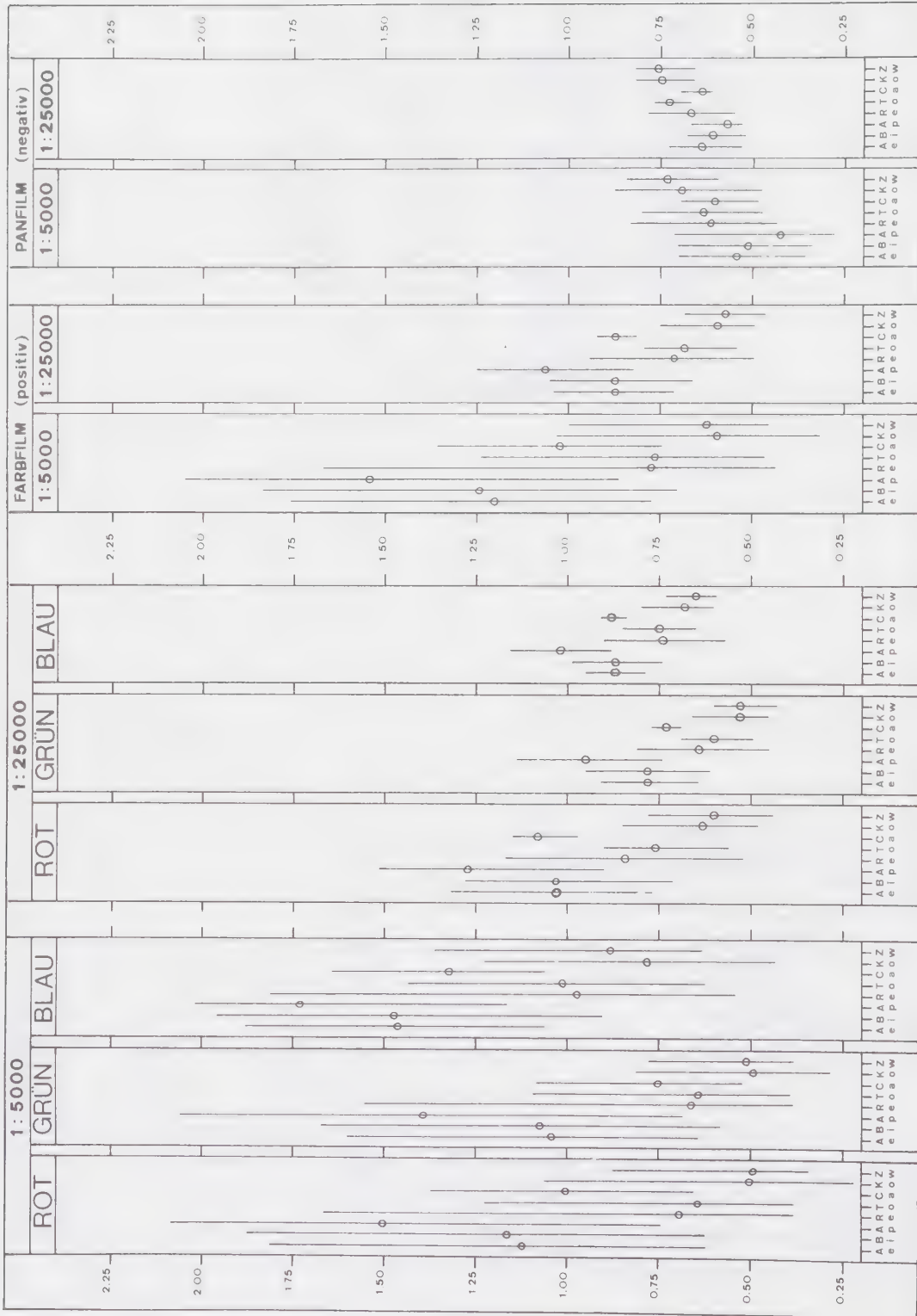
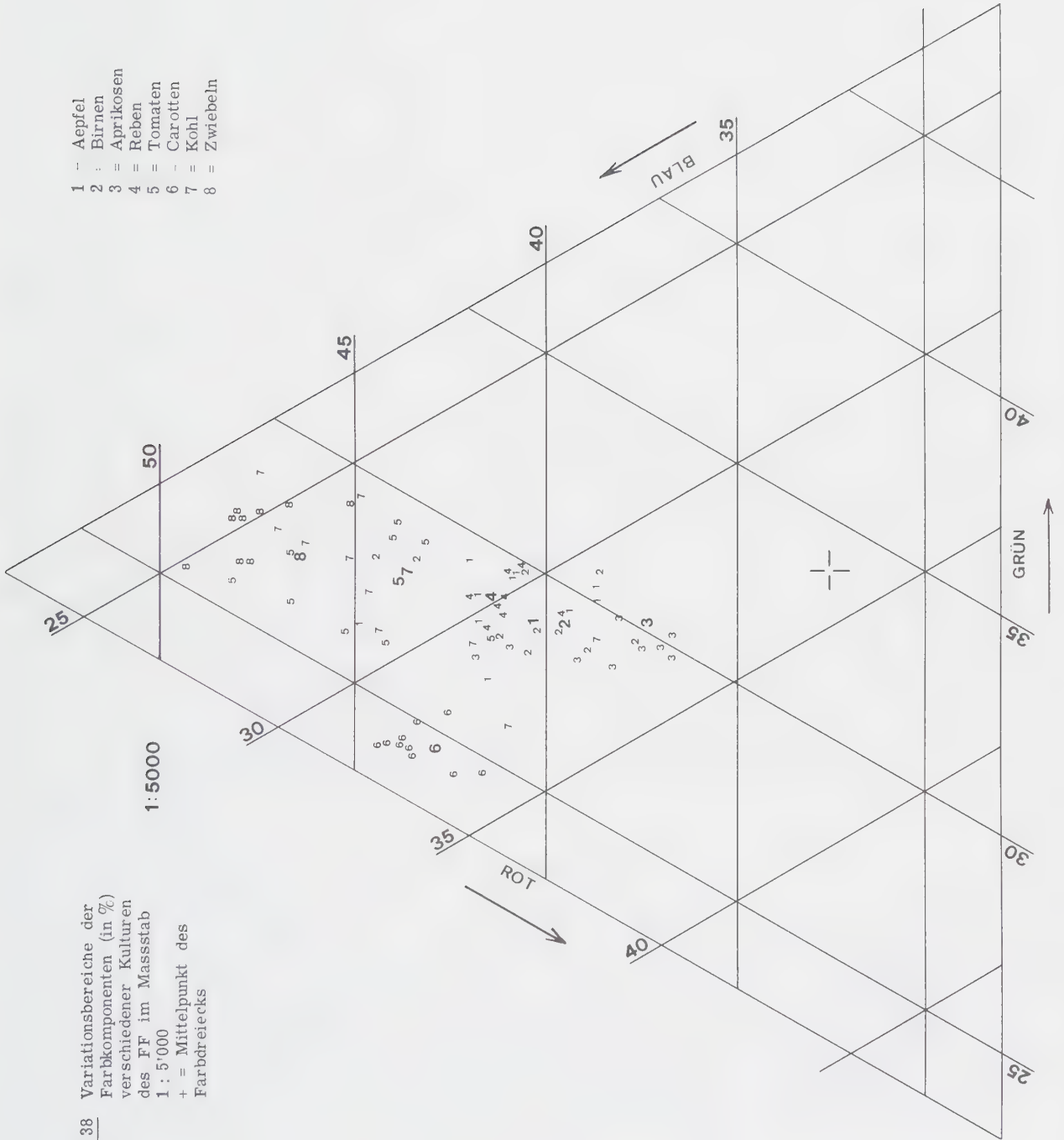
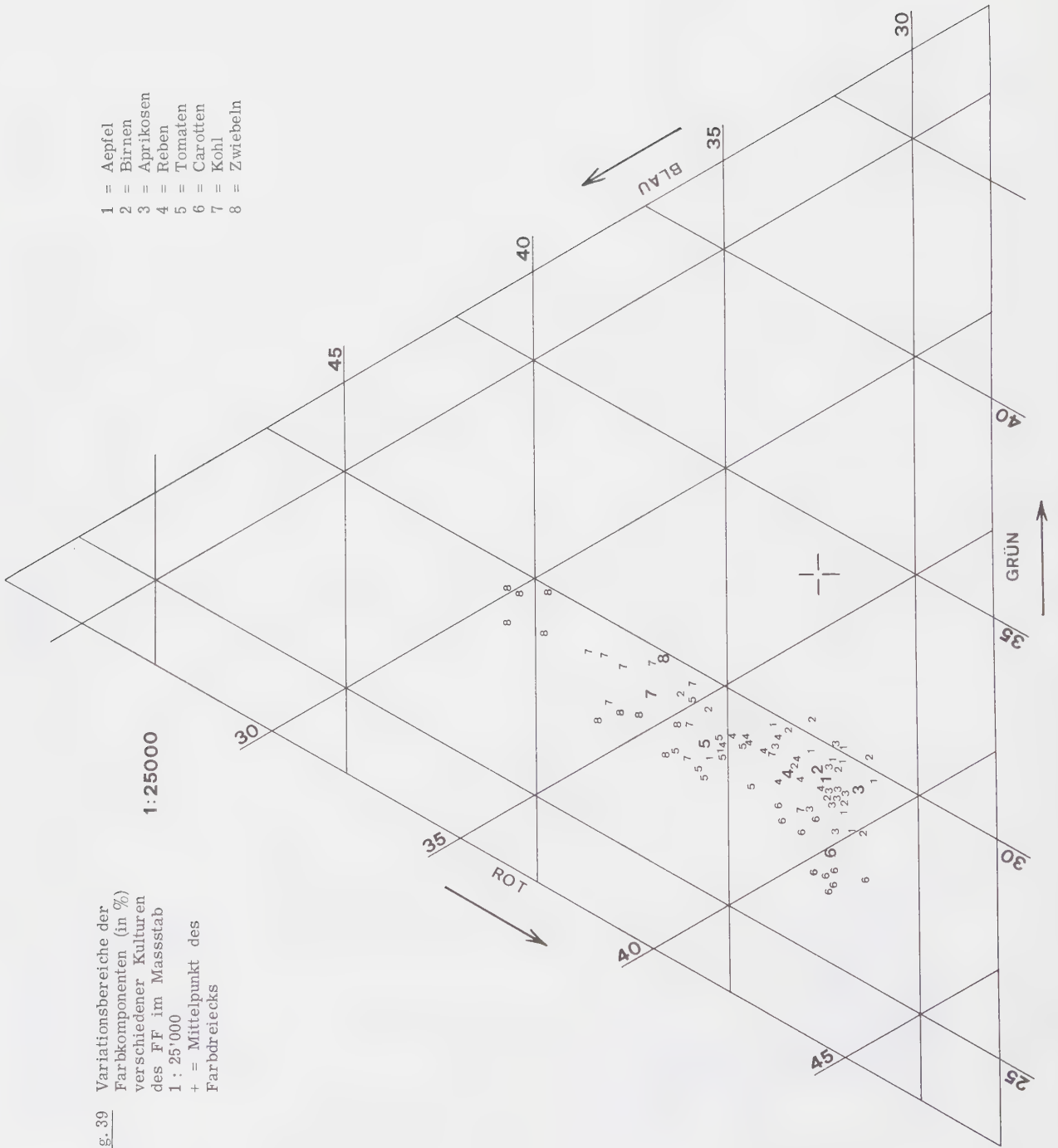


Fig. 37 Dichteumfang verschiedener Kulturen für verschiedene Filme, Filter und Masstäbe  
o = mittlere Dichte, —o— = Dichtestreuung



**Fig. 38** Variationsbereiche der Farbkomponenten (in %) verschiedener Kulturen des FF im Masstab 1 : 5'000  
+ = Mittelpunkt des Farbdreiecks





(gleiche Objekte wie für Fig. 34) ist durch eine senkrechte Linie, die Mittelwerte durch einen Kreis wiedergegeben. Wir sehen hier deutlich, erstens den Unterschied zwischen den beiden Bildmassstäben 1: 5'000 bzw. 1: 25'000 und zweitens den Unterschied zwischen Farb- und Schwarzweiss-Film. Auffällig sind die viel grösseren Schwankungen im Dichtebereich einzelner Kulturen beim grossmassstäbigen Farbfilm gegenüber dem Massstab 1: 25'000, bzw. dem Schwarzweiss-Film, was auf einen viel grösseren Informationsgehalt des grossmassstäbigen Farbfilms schliessen lässt. Der Aussagewert des Farbfilms durch die grössere Streuung der Mittelwerte der verschiedenen Kulturen gegenüber dem Schwarzweiss-Film tritt ebenfalls deutlich in Erscheinung. Weiter ist auffallend, wie der Einfluss des Himmelslichtes bei den beiden dargestellten Massstäben eine Verschiebung der Dichtewerte gegen den Rotbereich hervorruft, d.h. die Dichten sind beim kleinmassstäbigen Luftbild wesentlich geringer.

Diese Massstabsabhängigkeit versuchten wir durch Darstellung der Dichtemessungen der drei Farbkomponenten Rot, Grün und Blau in einem Dreieckskoordinatensystem zu veranschaulichen. Ausgehend von der Gesamtdichte, die sich aus den Dichten der Rot-, Grün- bzw. Blaukomponenten zusammensetzt, errechneten wir den prozentualen Anteil der einzelnen Farbkomponenten an der Gesamtdichte (Fig. 38 und 39).

Je 20 Felder pro Kultur wurden berücksichtigt und daraus ein Mittelwert gebildet (= grosse Zahlen). Jeweils die ersten 10 Werte wurden eingetragen (= kleine Zahlen), um den Streubereich zu veranschaulichen. Der Variationsbereich der einzelnen Kulturen tritt in dieser Darstellung deutlich in Erscheinung. Mit Ausnahme der Carotten in beiden Massstäben und der Aprikosen im grösseren Massstab überschneiden sich die Variationsbereiche mehr oder weniger stark, was eine schwierige Differenzierung prognostiziert.

In Fig. 38 ( $M = 1: 5'000$ ) umfassen die Dichteanteile im grünen Spektralbereich 23 - 32 %, im roten 23 - 33 % und im blauen 37 - 49 %. In Fig. 39 ( $M = 1: 25'000$ ) tritt dagegen eine Verschiebung ein, bedingt durch den höheren Anteil an Himmelslicht bzw. Dunst. Der Anteil an Grünlicht, der zwischen 27 - 31 % liegt, bleibt mehr oder weniger gleich. Der Anteil des Blaulichts verkleinert sich auf 32 - 41 %, während derjenige des Rotlichtes auf 29 - 42 % ansteigt, d.h. die Durchlässigkeit im Blau-Bereich ist im kleineren Massstab grösser als im Massstab 1: 5'000.

### 7.3 Quantitative Interpretation mit Hilfe der Diskriminanzanalyse

#### 7.3.1 Das Trennverfahren

Nach Weber (1967), an die wir uns in den folgenden Ausführungen halten, ist der Zweck der Diskriminanzanalyse die Trennung verschiedener Grundgesamtheiten und die Zuordnung fraglicher Elemente zu einer der Gesamtheiten. Die Trennung erfolgt durch Erfassen einer Anzahl von Merkmalen an jedem einzelnen Element der Gesamtheiten und durch Aufstellen einer Funktion (= Trennformel), die über die Zuordnung der Elemente entscheidet und daher Entscheidungsfunktion genannt wird. Linder (1961) nennt die Diskriminanzanalyse Trennverfahren.

Vergleicht man zwei oder mehr Gruppen von Individuen, so unterscheiden sich diese meist nicht nur in einem einzelnen, sondern in einer Anzahl von charakteristischen, messbaren Merkmalen. Führen wir den Vergleich immer nur in Bezug auf eine Merkmal durch, so werden wir ein einseitiges, zur Kennzeichnung unzureichendes Bild erhalten. Ein einzelnes Merkmal genügt auch selten zur Trennung zweier Gesamtheiten. Fischer (1936) hat dies in einem

rechnerischen Verfahren dargelegt. Zwei Gesamtheiten lassen sich noch am ehesten durch ein einziges Merkmal trennen, wenn die Häufigkeitsverteilungen dieses Merkmals in beiden Gesamtheiten sich möglichst wenig überschneiden, also ihre Mittelwerte möglichst grossen Abstand voneinander haben und die Summe der beiden Varianzen möglichst klein ist.

Die lineare Diskriminanzanalyse kann wie folgt beschrieben werden:

Von einem Merkmal  $i$  liegen zwei Stichproben vor, die die Durchschnittswerte  $\bar{x}_i^1$  und  $\bar{x}_i^2$  geliefert haben. Die Differenz zwischen den beiden Mittelwerten sei  $d_i$ . Die Summe der Varianzen innerhalb jeder Stichprobe ist

$$v_i = \frac{q_{ii}^1 + q_{ii}^2}{n^1 + n^2 - 2}$$

wobei  $q$  die Summe der Produkte der Abweichungen bedeutet und  $n$  die Anzahl aller untersuchten Elemente.

Die Häufigkeitsverteilungen des  $i$ . Merkmals in beiden Stichproben werden sich im allgemeinen überschneiden. Eine Trennung beider gelingt umso leichter, je grösser der Quotient

$$V_i = \frac{d_i^2}{v_i} = \frac{(\bar{x}_i^1 - \bar{x}_i^2)^2}{\frac{1}{q_{ii}^1} + \frac{1}{q_{ii}^2}}$$

ist. Statt der Mittelwertsdifferenz ist ihr Quadrat genommen, was die Trennschärfe nicht beeinflusst, aber die rechnerische Auswertung vereinfacht. Hat man eine Anzahl von Merkmalen an jedem Element der Stichproben ausgemessen, so sollen auch alle ermittelten Masse gemeinsam zur Aufstellung einer Trennformel herangezogen werden, um eine schärfere Aussage zu gewinnen.

Die verschiedenen Masse werden so vereinigt, indem man die Messergebnisse jedes Elements je mit einem Faktor  $b_i$  multipliziert und dann addiert. Ueber den Faktor  $b_i$  wird nichts weiter vorausgesetzt, als dass er nach dem Merkmal  $i$  abgestuft ist. Man bildet also

$$b_1 x_1^1 + b_2 x_2^1 + b_3 x_3^1 + \dots + b_m x_m^1$$

d. h. an einem Element der Stichprobe 1 sind die Merkmale 1, 2, 3, ..., m gemessen worden; jeder Messwert  $x_1^1$ ,  $x_2^1$  wird mit einem Faktor  $b_1$  bzw.  $b_2$  bzw.  $b_3$  multipliziert, und dann werden alle erhaltenen Werte addiert. Betrachtet man die  $b_i$  als gegebene Zahlen, so erhält man für jedes Element einen bestimmten Wert, den man als das Rechenmass  $X^1$  bezeichnet.

$$X^1 = \sum_i b_i x_i^1$$

Nehmen wir an, in jeder der beiden Gesamtheiten seien drei Merkmale gemessen worden. Die Rechenmasse für die beiden Gesamtheiten sind dann:

$$\begin{aligned} X^1 &= b_1 x_1^1 + b_2 x_2^1 + b_3 x_3^1 = \sum_{i=1}^3 b_i x_i^1 \\ X^2 &= b_1 x_1^2 + b_2 x_2^2 + b_3 x_3^2 = \sum_{i=1}^3 b_i x_i^2 \end{aligned}$$

Die Mittelwertdifferenz zwischen den Rechenmassen:

$$d = \bar{X}^1 - \bar{X}^2 = b_1 d_1 + b_2 d_2 + b_3 d_3$$

Die  $b_i$  sollen so bestimmt werden, dass die Differenz möglichst gross wird, das Rechenmass also die Gesamtheiten möglichst weit auseinanderzuhalten gestattet. Zugleich soll die Summe der Abweichungsquadrate der  $X$  von ihren Mittelwerten innerhalb jeder Gesamtheit

$$\sum (X^1 - \bar{X}^1)^2 + \sum (X^2 - \bar{X}^2)^2 = T$$

möglichst klein sein. Diese Forderungen werden erfüllt, wenn der Quotient

$$Q = \frac{d^2}{\sum (X^1 - \bar{X}^1)^2 + \sum (X^2 - \bar{X}^2)^2} = \frac{d^2}{T}$$

möglichst gross ausfällt. Durch Differentiation nach  $b_1, b_2, b_3$  und Nullsetzen der Ableitungen erhält man

$$\frac{1}{2} \frac{\partial T}{\partial b_1} = \frac{T}{d} \frac{\partial d}{\partial b_1} \quad \text{etc.}$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial T}{\partial b_1} = b_1 q_{11} + b_2 q_{12} + b_3 q_{13} = \frac{T}{d} d_1 \quad \text{etc.}$$

Der Faktor  $\frac{T}{d}$  kann weggelassen werden, da nur das Verhältnis der  $b_i$  zueinander von Bedeutung ist, nicht aber der absolute Betrag. Die Bestimmungsgleichung für die  $b_i$  lautet dann:

$$\begin{aligned} b_1 q_{11} + b_2 q_{12} + b_3 q_{13} &= d_1 \\ b_1 q_{21} + b_2 q_{22} + b_3 q_{23} &= d_2 \\ b_1 q_{31} + b_2 q_{32} + b_3 q_{33} &= d_3 \end{aligned}$$

Die damit bestimmten Werte  $b_1, b_2, b_3$ , ergeben die günstigste Trennformel. Das auf diese Weise bestimmte Rechenmass  $X$  heisst die lineare Diskriminanzfunktion;  $X$  ist bei festem  $b_i$  eine Funktion der  $x_i$ . Mit Hilfe dieser Funktion kann man entscheiden, zu welcher der beiden Gesamtheiten ein Element gehört.

Da in der Praxis oft die Kenntnis der Korrelationen zwischen den Variablen erwünscht ist, formt man die Gleichungen so um, dass an die Stelle der  $q_{ij}$ -Werte die Korrelationskoeffizienten ( $r_{ij}$ ) treten.

$$\begin{aligned} b_1' + r_{12} b_2' + r_{13} b_3' &= d_1' \\ r_{12} b_1' + b_2' + r_{23} b_3' &= d_2' \\ r_{13} b_1' + r_{23} b_2' + b_3' &= d_3' \end{aligned}$$

Wenn mehr als zwei Gesamtheiten vorliegen, stellt sich häufig die Frage, ob eine Gruppe 1 einer Gruppe 2 näher steht als einer Gruppe 3. Um dieses Problem lösen zu können, benötigen wir ein Mass, das den Abstand der einen Gruppe von der anderen misst. Der verallgemeinerte Abstand, den Mahalanobis (1949) einführt, stellt ein derartiges Mass dar.

Ausgehend von der Mittelwertsdifferenz :

$$d = b_1 d_1 + b_2 d_2 + b_3 d_3 + \dots + b_p d_p$$

setzt Mahalanobis um den verallgemeinerten Abstand einzuführen diesen Ausdruck gleich  $p \cdot D^2$ , worin  $p$  die Anzahl der Merkmale bedeutet. In unserem Beispiel lautet dann die Gleichung :

$$3D^2 = b_1 d_1 + b_2 d_2 + b_3 d_3$$

(Die  $b_1$ ,  $b_2$  und  $b_3$  können aus der Gleichung  $b_1 q_{11} + b_2 q_{12} + b_3 q_{13} = d_1$  etc. bestimmt werden).

Diese formen wir jedoch um und setzen an die Stelle der  $q_{ij}$ -Werte die Streuung  $s_{ij}$ , indem wir jedes  $q_{ij}$  durch die Freiheitsgrade  $n^1 + n^2 - 2$  dividieren. Dies ist statthaft, da es nur auf das Verhältnis der  $b_i$  zueinander ankommt.

Wir erhalten:

$$b_1 s_{11} + b_2 s_{12} + b_3 s_{13} = d_1$$

$$b_2 s_{21} + b_2 s_{22} + b_3 s_{23} = d_2$$

$$b_2 s_{31} + b_3 s_{32} + b_3 s_{33} = d_3$$

Die Lösung des Gleichungssystems lässt sich mit Hilfe der Gauss'schen Multiplikation darstellen. Es ist

$$b_1 = d_1 c_{11} + d_2 c_{12} + d_3 c_{13}$$

$$b_2 = d_1 c_{21} + d_2 c_{22} + d_3 c_{23}$$

$$b_3 = d_1 c_{31} + d_2 c_{32} + d_3 c_{33}$$

und damit wird der verallgemeinerte Abstand:

$$3D^2 = d_1^2 c_{11} + d_2^2 c_{22} + d_3^2 c_{33} + 2(d_1 d_2 c_{12} + d_1 d_3 c_{13} + d_2 d_3 c_{23})$$

Dadurch ist es erst möglich, die Messwerte den einzelnen Kulturen zuzuordnen.

### 7.3.2 Beispiel

Die lineare Diskriminanzanalyse sei hier an einem Beispiel aus unseren Untersuchungen noch näher beleuchtet:

Von 2 Gesamtheiten  $K^1$  = Äpfel und  $K^2$  = Aprikosen sind je 40 verschiedene Felder ( $n$ ) geprüft worden. Es wurden jeweils 3 Merkmale untersucht: Die Messwerte  $x_1$  stellen die relativen Dichtewerte, mit Rotfilter gemessen, dar,  $x_2$  jene mit Grünfilter und  $x_3$  diejenigen mit Blaufilter (Mittelwerte von je 6 Messungen).



| $K^1 = \text{Äpfel}$ |                 |                 | $K^2 = \text{Aprikosen}$ |                 |                 |
|----------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
| $x_1^1$<br>rot       | $x_2^1$<br>grün | $x_3^1$<br>blau | $x_1^2$<br>rot           | $x_2^2$<br>grün | $x_3^2$<br>blau |
| 0.90                 | 0.95            | 1.40            | 1.05                     | 0.98            | 1.50            |
| 0.79                 | 0.81            | 1.27            | 0.94                     | 0.91            | 1.27            |
| 0.90                 | 0.94            | 1.43            | 1.18                     | 1.15            | 1.73            |
| 1.09                 | 1.06            | 1.58            | 1.28                     | 1.16            | 1.71            |
| 0.55                 | 0.54            | 1.02            | 1.21                     | 1.11            | 1.71            |
| 0.67                 | 0.65            | 1.16            | 1.13                     | 1.00            | 1.66            |
| 1.05                 | 0.92            | 1.53            | 1.32                     | 1.15            | 1.77            |
| 0.92                 | 0.87            | 1.42            | 1.23                     | 1.13            | 1.67            |
| 0.75                 | 0.80            | 1.20            | 1.29                     | 1.17            | 1.72            |
| 0.88                 | 0.92            | 1.40            | 0.88                     | 0.79            | 1.40            |
| 1.08                 | 1.02            | 1.38            | 1.24                     | 1.14            | 1.75            |
| 1.22                 | 1.09            | 1.67            | 1.49                     | 1.35            | 1.93            |
| 1.05                 | 1.01            | 1.55            | 0.99                     | 0.92            | 1.47            |
| 1.07                 | 0.97            | 1.58            | 0.97                     | 0.84            | 1.38            |
| 1.20                 | 1.03            | 1.75            | 1.11                     | 1.02            | 1.56            |
| 0.86                 | 0.82            | 1.44            | 1.14                     | 1.10            | 1.72            |
| 0.75                 | 0.79            | 1.31            | 1.35                     | 1.25            | 1.87            |
| 1.09                 | 0.97            | 1.64            | 1.51                     | 1.41            | 2.00            |
| 0.75                 | 0.77            | 1.36            | 1.34                     | 1.29            | 1.89            |
| 1.28                 | 1.12            | 1.72            | 1.39                     | 1.31            | 1.92            |
| 1.41                 | 1.24            | 1.82            | 0.91                     | 0.95            | 1.33            |
| 0.91                 | 0.99            | 1.43            | 1.60                     | 1.53            | 2.06            |
| 1.03                 | 1.00            | 1.49            | 1.32                     | 1.18            | 1.74            |
| 1.10                 | 1.00            | 1.60            | 1.37                     | 1.35            | 1.97            |
| 0.96                 | 0.82            | 1.24            | 1.27                     | 1.24            | 1.87            |
| 0.96                 | 0.89            | 1.52            | 0.98                     | 0.95            | 1.62            |
| 1.26                 | 1.07            | 1.63            | 1.18                     | 1.07            | 1.66            |
| 0.85                 | 0.81            | 1.35            | 1.55                     | 1.45            | 2.03            |
| 0.78                 | 0.83            | 1.32            | 1.43                     | 1.37            | 1.94            |
| 0.61                 | 0.68            | 1.16            | 1.70                     | 1.62            | 2.16            |
| 0.80                 | 0.83            | 1.32            | 1.79                     | 1.68            | 2.17            |
| 0.90                 | 0.92            | 1.41            | 1.53                     | 1.46            | 2.01            |
| 0.88                 | 0.89            | 1.47            | 1.47                     | 1.42            | 1.98            |
| 1.00                 | 1.03            | 1.54            | 1.27                     | 1.23            | 1.87            |
| 0.71                 | 0.68            | 1.16            | 1.60                     | 1.53            | 2.10            |
| 0.64                 | 0.67            | 1.14            | 1.65                     | 1.59            | 2.20            |
| 1.09                 | 0.94            | 1.57            | 1.15                     | 1.18            | 1.77            |
| 0.88                 | 0.84            | 1.41            | 1.16                     | 1.18            | 1.77            |
| 1.26                 | 1.07            | 1.60            | 0.53                     | 0.55            | 1.05            |
| 0.96                 | 0.91            | 1.43            | 1.57                     | 1.50            | 2.05            |

Fig. 40 zeigt die Verteilung der Messwerte der drei Merkmale in den beiden Gesamtheiten nach Dichtestufen von 0,1D. Wir stellen, wie erwartet, eine starke Ueberschneidung fest. Nach dem oben erwähnten Verfahren wurde die Diskriminanzfunktion ermittelt:

$$\begin{aligned}
 X^1 &= b_1 x_1^1 + b_2 x_2^1 + b_3 x_3^1 \\
 X^2 &= b_1 x_1^2 + b_2 x_2^2 + b_3 x_3^2
 \end{aligned}$$

Die errechneten Beträge sind für  $b_1 = 0.000989$   
 $b_2 = 0.003032$   
 $b_3 = 0.00502$

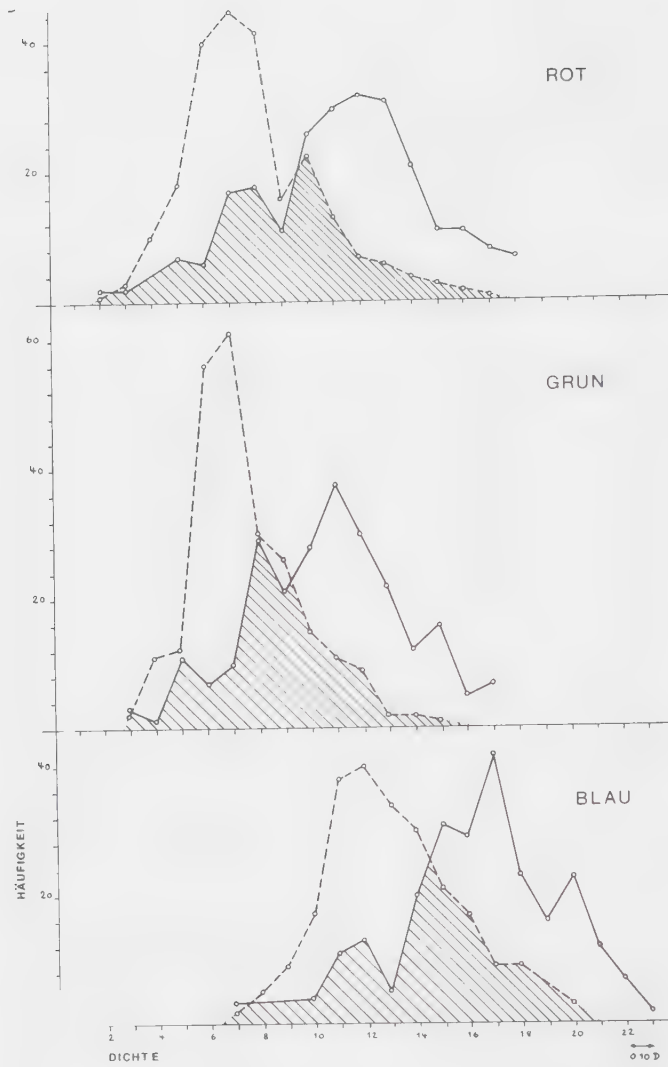


Fig.40 Verteilung der Messwerte der drei Merkmale "Rot" ( $x_1$ ), "Grün" ( $x_2$ ) und "Blau" ( $x_3$ ) in den beiden Gesamtheiten (--- Äpfel, — Aprikosen)

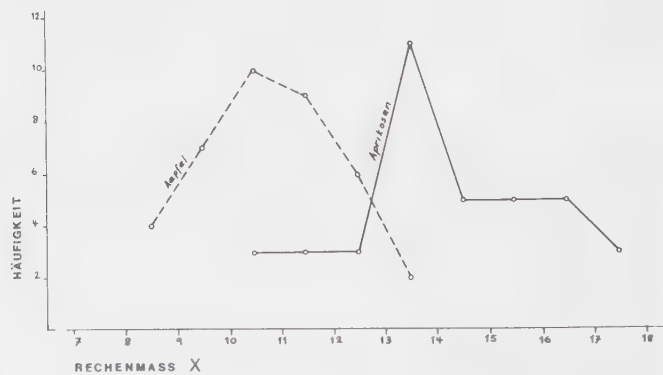


Fig.41 Verteilung der Rechenmasse X der beiden Gesamtheiten (--- Äpfel, — Aprikosen)

In diese Gleichung wurden nun die Messwerte für die beiden Gruppen  $K^1$  und  $K^2$  eingesetzt und die Rechenmasswerte ermittelt.

Diese wiederum wurden zu Klassen zusammengefasst:

| Rechenmasswerte<br>X | Häufigkeit<br>Messreihe $K^1$<br>(Aepfel) | Häufigkeit<br>Messreihe $K^2$<br>(Aprikosen) |
|----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 8 - 9                | 4                                         |                                              |
| 9 - 10               | 7                                         |                                              |
| 10 - 11              | 10                                        | 3                                            |
| 11 - 12              | 9                                         | 3                                            |
| 12 - 13              | 6                                         | 3                                            |
| 13 - 14              | 2                                         | 11                                           |
| 14 - 15              |                                           | 5                                            |
| 15 - 16              |                                           | 5                                            |
| 16 - 17              |                                           | 5                                            |
| 17 - 18              |                                           | 3                                            |

Fig. 41 zeigt die Verteilung der Rechenmasse der beiden Gruppen. Die Ueberschneidungszone, die keine eindeutige Zuordnung gestattet, liegt hier zwischen den Klassen 10 und 14. Die Trennung der beiden Gesamtheiten ist also nicht sehr gut.

### 7.3.3 Auswertung mit dem Computer und Darstellung der Resultate

Das grosse Zahlenmaterial, das sich durch die in 7.2 dargelegten Messungen ergab, die grosse Variationsbreite und die Ueberlagerung der Dichtewerte einzelner Kulturen, veranlasste uns, eine Trennung mit Hilfe der in 7.3.1/2 beschriebenen Diskriminanzanalyse zu versuchen. Zur Durchführung dieser Rechenoperation benutzten wir den Computer IBM 360 der Universität Zürich. Z.T. konnten Programme aus der Programmbibliothek des Geographischen Institutes der Universität, seinerzeit von Steiner erarbeitet, verwendet werden.

Der Output lieferte uns eine Aufstellung der gemessenen Felder und eine entsprechende Klassifikation für die einzelnen Kulturen. Fig. 42 zeigt ein Beispiel davon. Hier wurden für den Massstab 1: 12'000 die Erfolgsraten, d.h. die richtige Klassifizierung der 240 gemessenen Felder zu den 8 möglichen Kulturen getestet, wobei als Unterscheidungskriterium nur ein Parameter, nämlich die Messungen mit dem Rotfilter verwendet wurden. Dargestellt ist das Resultat für die Gruppe 1 = Aepfel. Von den 40 vorhandenen Apfelfeldern wurden nur deren 12 richtig zugeordnet, was einer Erfolgsrate von 30% entspricht.

Fig. 43 zeigt dann eine Zusammenstellung der richtigen und falschen Klassifikationen für den Parameter "Rotfilter". Die einzige gute Trennung ergab sich für die Aprikosen mit 72,5%; die Carotten und die Zwiebeln wurden mit je 50% bzw. 55% richtig zugeordnet. Für die übrigen Kulturen ergab sich keine annehmbare Klassifikation.

Im folgenden wurden vorerst die nachstehenden Filterkombinationen für jeden der drei untersuchten Massstäbe analysiert:

|                        |                                                |
|------------------------|------------------------------------------------|
| Rotfilter              | Rotfilter + Blaufilter                         |
| Grünfilter             | Grünfilter + Blaufilter                        |
| Blaufilter             | Rotfilter + Grünfilter + Blaufilter = Farbfilm |
| Rotfilter + Grünfilter |                                                |

DISCRIMINANT ANALYSIS.....FARFIL2      Massstab 1 : 12'000

NUMBER OF GROUPS                      8

NUMBER OF VARIABLES                  1      = Rotfilter

SAMPLE SIZES..

|       |    |             |
|-------|----|-------------|
| GROUP |    |             |
| 1     | 40 | = Aepfel    |
| 2     | 40 | = Birnen    |
| 3     | 40 | = Aprikosen |
| 4     | 30 | = Reben     |
| 5     | 30 | = Tomaten   |
| 6     | 20 | = Carotten  |
| 7     | 20 | = Kohl      |
| 8     | 20 | = Zwiebeln  |

EVALUATION OF CLASSIFICATION FUNCTIONS FOR EACH OBSERVATION

GROUP 1

| OBSERVATION | PROBABILITY ASSOCIATED WITH<br>LARGEST DISCRIMINANT FUNCTION | LARGEST<br>FUNCTION NO. |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1           | 0.20576                                                      | <u>1</u>                |
| 2           | 0.21540                                                      | 4                       |
| 3           | 0.20003                                                      | <u>1</u>                |
| 4           | 0.23588                                                      | <u>1</u>                |
| 5           | 0.23962                                                      | 5                       |
| 6           | 0.18766                                                      | <u>1</u>                |
| 7           | 0.24465                                                      | 2                       |
| 8           | 0.22083                                                      | <u>1</u>                |
| 9           | 0.21097                                                      | 4                       |
| 10          | 0.24153                                                      | <u>1</u>                |
| 11          | 0.45500                                                      | 3                       |
| 12          | 0.66098                                                      | 3                       |
| 13          | 0.25759                                                      | 6                       |
| 14          | 0.25167                                                      | 6                       |
| 15          | 0.25985                                                      | 6                       |
| 16          | 0.21618                                                      | <u>1</u>                |
| 17          | 0.19817                                                      | 4                       |
| 18          | 0.34048                                                      | 3                       |
| 19          | 0.20576                                                      | <u>1</u>                |
| 20          | 0.54012                                                      | 3                       |
| 21          | 0.77102                                                      | 3                       |
| 22          | 0.19305                                                      | 4                       |
| 23          | 0.26007                                                      | 6                       |
| 24          | 0.37326                                                      | 3                       |
| 25          | 0.23340                                                      | 4                       |
| 26          | 0.25410                                                      | 6                       |
| 27          | 0.45394                                                      | 3                       |
| 28          | 0.21038                                                      | 4                       |
| 29          | 0.23081                                                      | 4                       |
| 30          | 0.24060                                                      | 7                       |
| 31          | 0.23952                                                      | 5                       |
| 32          | 0.20576                                                      | <u>1</u>                |
| 33          | 0.21115                                                      | <u>1</u>                |
| 34          | 0.21115                                                      | <u>1</u>                |
| 35          | 0.24377                                                      | 2                       |
| 36          | 0.23852                                                      | 5                       |
| 37          | 0.25095                                                      | 6                       |
| 38          | 0.22083                                                      | <u>1</u>                |
| 39          | 0.83494                                                      | <u>3</u>                |
| 40          | 0.25167                                                      | 6                       |

Fig. 42 Computer-Output der Diskriminanzanalyse für Farbfilm, Massstab 1 : 12'000, Rotfilter  
Beispiel Aepfel (1 = richtig klassiert)



| Zuordnung<br>ge-<br>messene<br>Felder | Ae   | Bi   | Ap    | Re  | To  | Ca   | Ko  | Zw   | Total ge-<br>messene<br>Felder |
|---------------------------------------|------|------|-------|-----|-----|------|-----|------|--------------------------------|
| Äpfel                                 | (12) | 2    | 8     | /   | 3   | 7    | 1   | -    | 40                             |
| Birnen                                | 12   | (3)  | 8     | 7   | 1   | 8    | 1   | -    | 40                             |
| Aprikosen                             | 1    | 1    | (29)  | -   | 2   | /    | -   | -    | 40                             |
| Reben                                 | 4    | -    | 1     | (9) | 2   | 2    | 10  | 2    | 30                             |
| Tomaten                               | 2    | 1    | -     | 7   | (9) | 2    | 6   | 3    | 30                             |
| Carotten                              | 5    | 2    | /     | 1   | -   | (10) | -   | -    | 20                             |
| Kohl                                  | 2    | -    | -     | 4   | -   | -    | (4) | 10   | 20                             |
| Zwiebeln                              | -    | -    | -     | -   | 3   | -    | 6   | (11) | 20                             |
| ○ richtig<br>klassierte<br>Felder     | 30%  | 7,5% | 72,5% | 30% | 30% | 50%  | 20% | 55%  | 240<br>36 %                    |

Fig. 43 Zusammenstellung der Erfolgsraten für Farbfilm, Massstab 1 : 12'000 , Rotfilter

In einer zweiten Serie untersuchten wir noch die Erfolgsaussichten durch Kombination der beiden Filme, d.h. Farbfilm und panchromatischer Schwarzweissfilm entsprechend dem von Baumberger (1969) verwendeten Prinzip (Fig. 44).

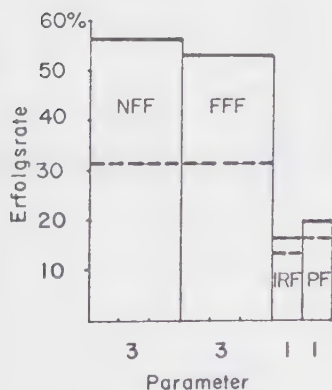


Fig. 44 Erfolgsraten der vier Filme NFF, FFF, IRF PF der Monate Juni und Juli mit Berücksichtigung der verwendeten Parameter als Basis. --- Juni-Erfolgsraten; — Juli-Erfolgsraten (aus Baumberger, 1969, S. 58)

NFF = Normalfarbfilm  
FFF = Falschfarbenfilm  
IRF = Infrarot-Film  
PF = Schwarzweiss-Film

Ausgehend von der gesamten untersuchten landwirtschaftlichen Nutzfläche (Fig. 45) ermittelten wir stufenweise die Erfolgsraten, d.h. wir bestimmten zuerst die Trennergebnisse für die Hauptgruppen der untersuchten Objekte, nämlich Baumkulturen, Reben und Gemüse. In den folgenden Schritten wurde dann eine immer differenziertere Trennung angestrebt, wie sie in Fig. 45 dargelegt ist. Die Interpretationsstufe 5 zeigt schliesslich die Resultate der Trennung

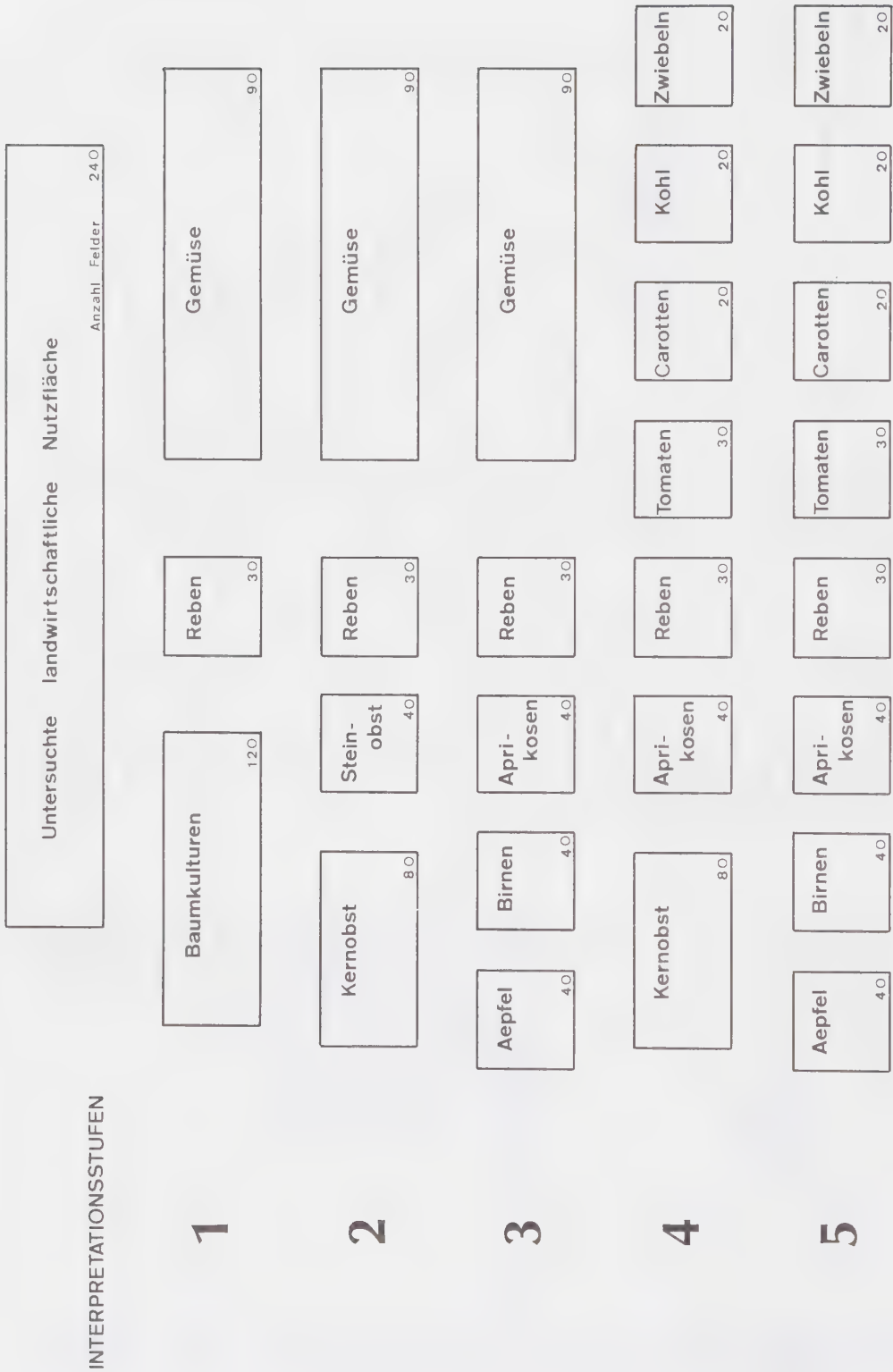
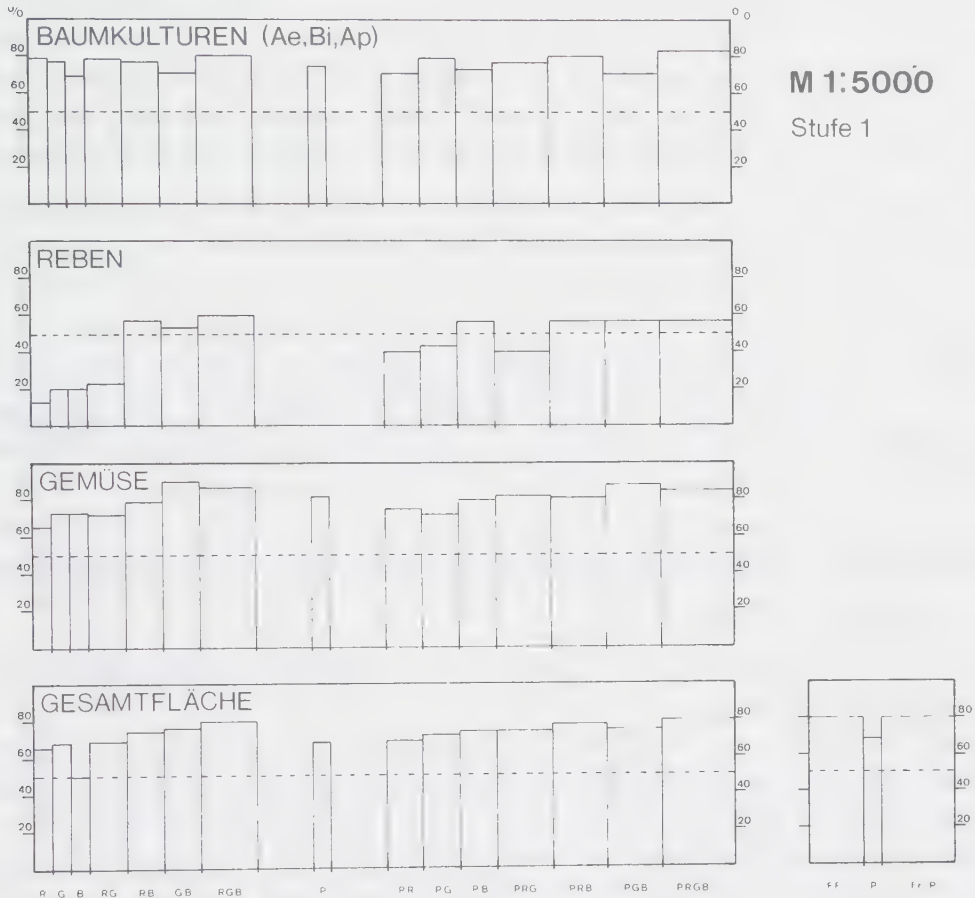


Fig. 45 Interpretationsstufen (1 - 5) der untersuchten Obst-, Gemüse- und Rebbaulandschaft

für alle untersuchten Einzel-Kulturen. Die Anzahl der verwendeten Parameter ist durch die horizontale Ausdehnung der einzelnen Diagramme wiedergegeben.

Die Fig. 46 - 53<sup>1</sup> zeigen eine Auswahl der ermittelten Erfolgsraten für einzelne Gruppen oder Kulturen, für verschiedene Filmfilter-Kombinationen und für verschiedene Massstäbe. Die wichtigsten Ergebnisse können figurenweise wie folgt zusammengefasst werden :



**Fig. 46** Erfolgsraten der Interpretationsstufe 1 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000

1 In Fig. 46-57 verwendete Abkürzungen :

Ae = Äpfel  
Bi = Birnen  
Ap = Aprikosen  
Re = Reben

To = Tomaten  
Ca = Carotten  
Ko = Kohl  
Zw = Zwiebeln

P = Panchromatischer Film  
FF = Farbfilm  
R = Rotfilter  
G = Grünfilter  
B = Blaufilter

Fig. 46 Erfolgsraten der Interpretationsstufe 1 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen  
im Massstab 1 : 5'000

Die Baumkulturen (Äpfel, Birnen, Aprikosen) zusammen liessen sich sehr gut von den übrigen Kulturen trennen. Die Resultate liegen für fast alle Filmfilter-Kombinationen über 70%. Die schlechteste Trennung ergab sich bei Verwendung der Messungen mit Blaufilter (69,17%), die beste bei Benutzung aller Parameter beider Filme (82,5%).

Die Reben zeigten bei Verwendung einzelner Parameter sehr schlechte Resultate, beim Farbfilm z.B. für Rot 13,3%, für Grün und Blau je 20%, beim Schwarzweiss-Film gar 0%. Annehmbare Ergebnisse liefert dagegen die Kombination aller drei Farbkomponenten (60%).

Das Gemüse (Tomaten, Carotten, Kohl, Zwiebeln) bringt wiederum eine sehr gute Trennung, die bei der Kombination der Parameter Grün und Blau ein Maximum von 89,91% erreicht.

Gesamthaft ergibt sich bei der Interpretationsstufe 1 für die drei Gruppen eine recht gute Trennung. Beim Farbfilm sehen wir deutlich, dass eine Vermehrung der Parameter bessere Resultate liefert. Bei Verwendung eines Parameters liegen die Erfolgsraten zwischen 65% und 68%, zwei Parameter verbessern das Resultat auf 68 - 76% und drei gar auf 80%. Das schlechteste Ergebnis liefert hier die Blaukomponente mit 50,83%. Der Schwarzweiss-Film vermag keine bessere Trennung zu liefern als die einzelnen Farbkomponenten. Die Ueberlegenheit des Farbfilms gegenüber dem Schwarzweissfilm tritt hier deutlich in Erscheinung. Auch eine Kombination der beiden Filme zeigt keine wesentliche Verbesserung (80,42%).

Fig. 47 Erfolgsraten der Interpretationsstufe 2 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen  
im Massstab 1 : 5'000

Neu kommt hier die Aufgliederung der Baumkulturen in Kernobst (Äpfel und Birnen) und in Steinobst (Aprikosen) hinzu.

Das Kernobst zeigt nur eine wenig über 50% liegende richtige Klassifizierung. Auch hier ist Blau der die schlechtesten Resultate liefernde Parameter mit 40%. Bei der Kombination der beiden Filme liegt das Ergebnis 5% höher als für den Farbfilm allein (60%).

Die Aprikosen dagegen weisen sehr gute Trennresultate auf, die durchwegs zwischen 75 und 78 % liegen. Die Messwerte zeigen eine verhältnismässig höhere Dichte (dunkler) an. Dies ist weitgehend auf die Geschlossenheit des Kronendaches und auf die Lage am Talhang zurückzuführen.

Gesamthaft ändert sich das Bild bei dieser Interpretationsstufe nicht wesentlich. Die Werte liegen durchschnittlich ca 10% tiefer als bei Stufe 1. Die beste Trennung liefert die Kombination Rot - Blau mit 76,67%.

Fig. 48 Erfolgsraten der Interpretationsstufe 3 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen  
im Massstab 1 : 5'000

Neu gegenüber den Interpretationsstufen 1 und 2 ist hier die Differenzierung des Kernobstes in Äpfel und Birnen. Bereits früher haben wir auf die grosse Aehnlichkeit der beiden Obstarten (weitgehend gleiche Baumformen, gleiche Anbauart, ungefähr gleicher Reifegrad) hingewiesen. Eine gute Trennung ist demzufolge kaum zu erwarten. Wie die Auswertung gezeigt hat, liegt denn auch kein Wert über 50%. Bei den Äpfeln liefert die Kombination der Parameter Rot - Blau mit 47,5% die verhältnismässig beste Differenzierung. Bei den Äpfeln





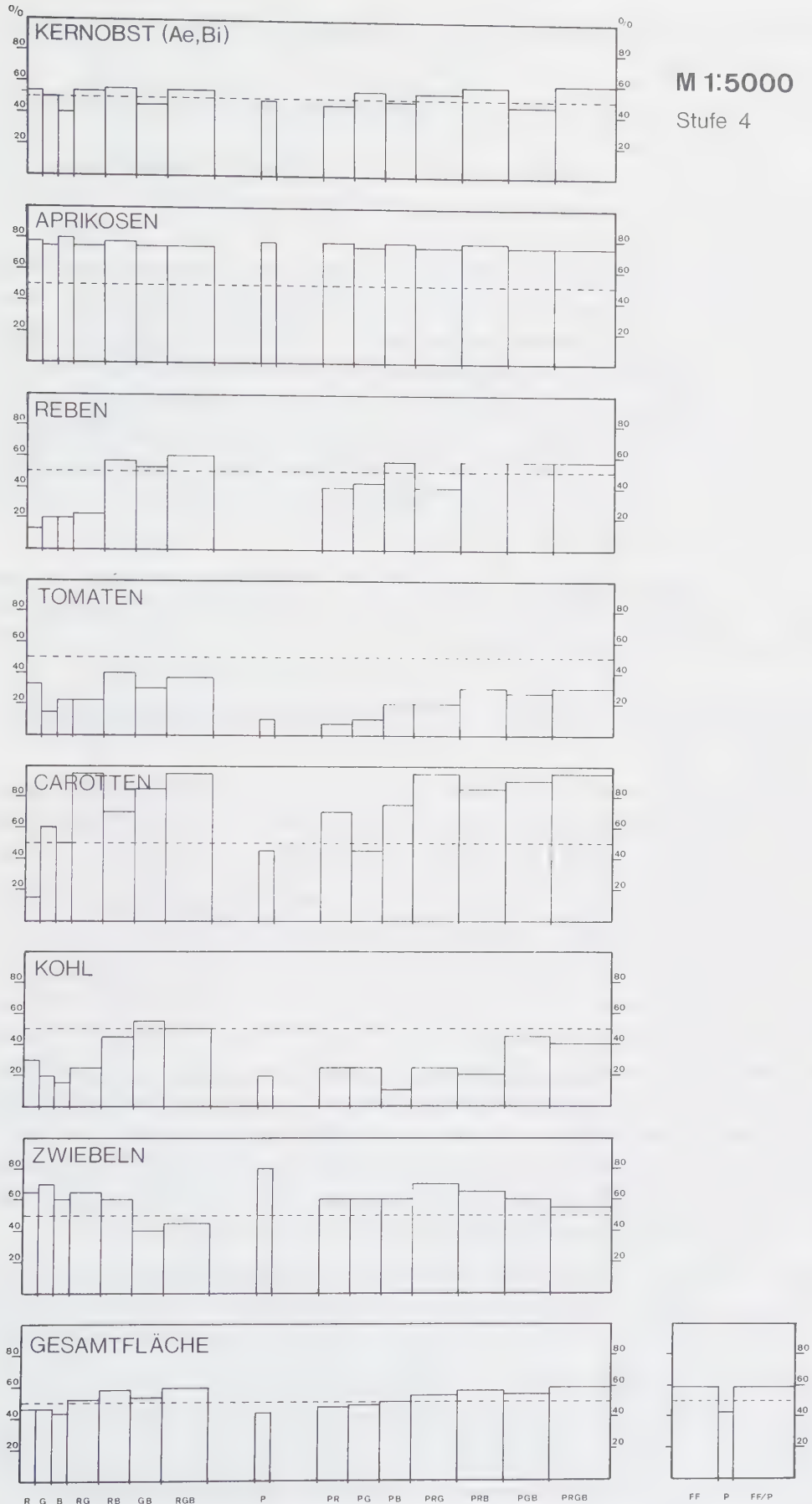
**Fig. 47** Erfolgsraten der Interpretationsstufe 2 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000

dominieren die blauen und grünen Anteile, bei den Birnen fällt der rote Anteil am stärksten ins Gewicht, während Blau nur eine äusserst schlechte Trennung vermittelt. Trotz dieser Unterschiede ist aber keine gute Trennung zustande gekommen. Es eröffnet sich hier die Möglichkeit, dass durch Interferenzfilter, die einen noch schmäleren Ausschnitt erfassen, eine deutlichere Differenzierung erreicht werden könnte.

Die Resultate aller Gruppen sind mehr oder weniger ausgeglichen. Mit Ausnahme des Parameters "Rot" mit 47,92% liegen alle Erfolgsraten über 50% und erreichen in der Kombination Rot - Blau 62,08% oder Rot - Grün - Blau gar das Maximum von 62,5%.



**Fig. 48** Erfolgsraten der Interpretationsstufe 3 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000



**Fig. 49** Erfolgsraten der Interpretationsstufe 4 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000

Fig. 49 Erfolgsraten der Interpretationsstufe 4 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen  
im Massstab 1 : 5'000

Hier versuchten wir neben Kernobst, Reben und Aprikosen die einzelnen Gemüsesorten zu analysieren.

Die Tomaten können durchwegs nur schlecht von den übrigen Kulturen getrennt werden. Beim Kohl übersteigen einzig die Werte der Kombination Grün - Blau und Rot - Grün - Blau die 50%-Grenze.

Die Zwiebeln dagegen ergeben recht gute Erfolgsraten, wobei hier eigenartigerweise die Resultate auf dem panchromatischen Film mit 80% am höchsten liegen. Es mag dies mit der Tatsache zusammenhängen, dass die Zwiebeln bereits geerntet zum Ausreifen auf den Feldern lagen, d.h. neben der bräunlichen Erde haben wir nur die gelbe Farbe der Zwiebeln. Im Schwarzweiss-Film ergibt dies eine sehr helle Fläche. Ähnliches zeigt sich auch beim Farbfilm im starken Rotanteil (65%) gegenüber den Carotten (15%). Hier dominiert das dichte grüne Kraut. Beide zeigen denn auch die besten Resultate aller bisher besprochenen einzelnen Kulturen. Die Carotten erreichen bereits in der Kombination Rot - Grün 95%, die Zwiebeln sogar schon beim grünen Parameter mit 70% im Maximum.

Bei Betrachtung aller Gruppen ergibt sich immer noch ein erfreuliches Resultat, das zwischen 42,5% (Blau) und 59,17% (Rot-Grün-Blau-Pan) liegt. Hier wird ebenfalls das Resultat durch die Verwendung mehrerer Parameter verbessert.

Fig. 50 Erfolgsraten der Interpretationsstufe 5 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen  
im Massstab 1 : 5'000

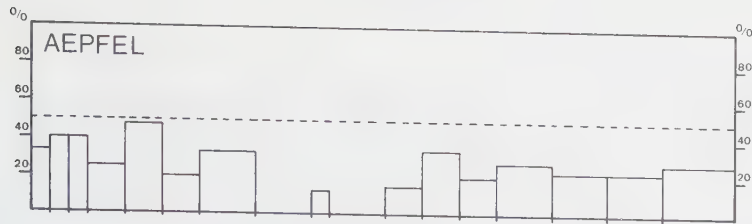
In der Interpretationsstufe 5 werden alle 8 Kulturen unterschieden. Wir haben sie bereits bei den vorhergehenden Figuren besprochen. Die Interpretationsstufe 5 liefert mit den Parametern Rot - Blau die beste Trennung, allerdings nur mehr mit 52,08%.

Von den Einzel-Kulturen liefert nur die Aprikose gleichbleibend in allen Filmfilter-Kombinationen sehr gute Resultate (75 - 80%). Die Carotten zeigen die besten Erfolgsraten aller Kulturarten, die allerdings zwischen 15% und 95% schwanken. Die Resultate der einzelnen Farbkomponenten oder des Schwarzweiss-Films sind hier unbefriedigend. Doch zeigt bereits die Kombination der beiden Parameter Rot und Grün die beste Trennung. Zusätzliche Parameter vermögen das Resultat nicht mehr zu verbessern. Als dritte Kultur liefern die Zwiebeln noch gute Ergebnisse. Hier werden bei Verwendung der beiden Parameter Rot und Grün 65% der gemessenen Felder richtig klassiert. Etwas bessere Resultate liefert sogar der allein verwendete Parameter Grün mit 70% und der Schwarzweiss-Film gar mit 80%. Bei den Reben ergeben die Kombination Rot-Blau und Rot - Grün - Blau die besten Resultate (56,6% bzw. 60%). Die Kombination mit dem Schwarzweiss-Film zeigt keine Verbesserung.

Die Erfolgsraten der übrigen Kulturen liegen unter 50% und ergeben für die Praxis keine brauchbare Klassifikation. Durch Zusammenfassung einzelner Kulturen in Kulturgruppen kann das Resultat wesentlich verbessert werden. So erhält man durch Vereinigung der Äpfel (47,5%) mit den Birnen (42,5%) zu einer Gruppe eine Erfolgsrate von 60%.

Zusammenfassend können die Messergebnisse wie folgt beurteilt werden. Verwendet man nur einen Parameter als Trennkriterium so genügen die Resultate mit wenigen Ausnahmen unseren Anforderungen nicht. Zwei Parameter hingegen liefern bereits bestmögliche Trennresultate.





M 1:5000

Stufe 5

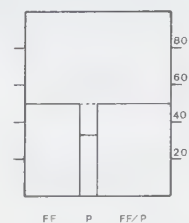
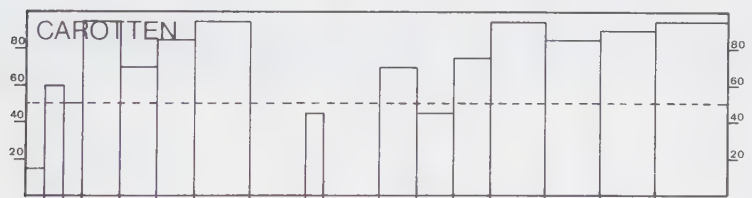


Fig. 59. Colorimetric data of the interpretation stage 5 for various film filter combinations

Da die Kombination Rot - Grün im einen und Rot - Blau im anderen Fall die besten Erfolgsraten ergibt, wird man jeweils alle drei Komponenten ausmessen und untereinander kombinieren. Der Arbeitsaufwand wird dabei nur unwesentlich erhöht. Bei einer Kombination Farbfilm - Schwarzweiss-Film steht der materielle und zeitliche Aufwand in keinem Verhältnis zum Ergebnis. In diesem Fall genügt der Farbfilm allein. Es muss allerdings betont werden, dass das Aufnahmedatum des vorhandenen Bildmaterials sicher nicht optimal war (vergl. Kapitel 11).

In Kapitel 7.2 haben wir bereits auf die Problematik der Blendenöffnung hingewiesen. In Fig.51 wird der Unterschied in den Erfolgsraten der einzelnen Kulturen für eine Blenden -

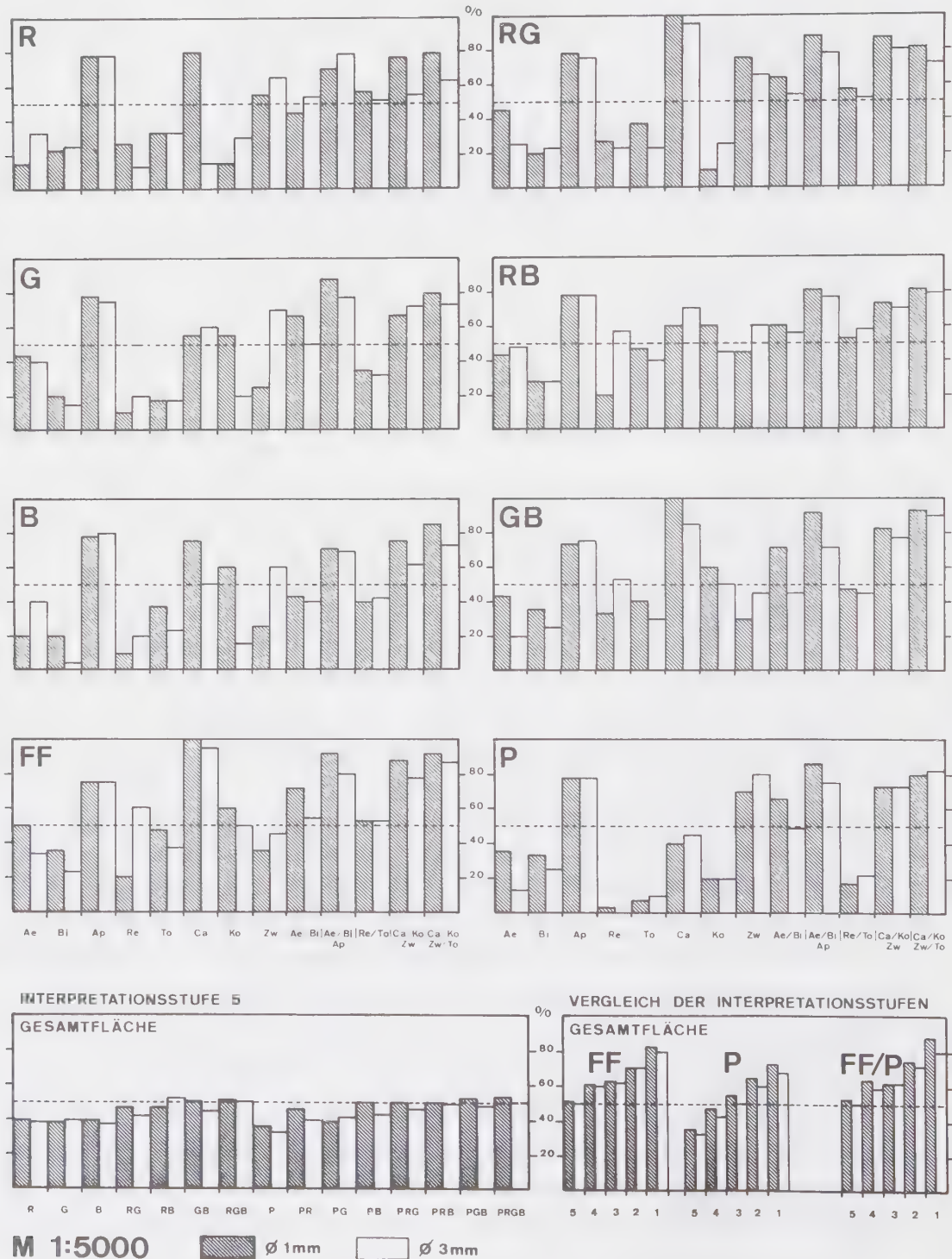


Fig.51 Vergleich der Erfolgsraten der Densitometermessungen für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000 bei einer Blendenöffnung von 3mm und 1mm

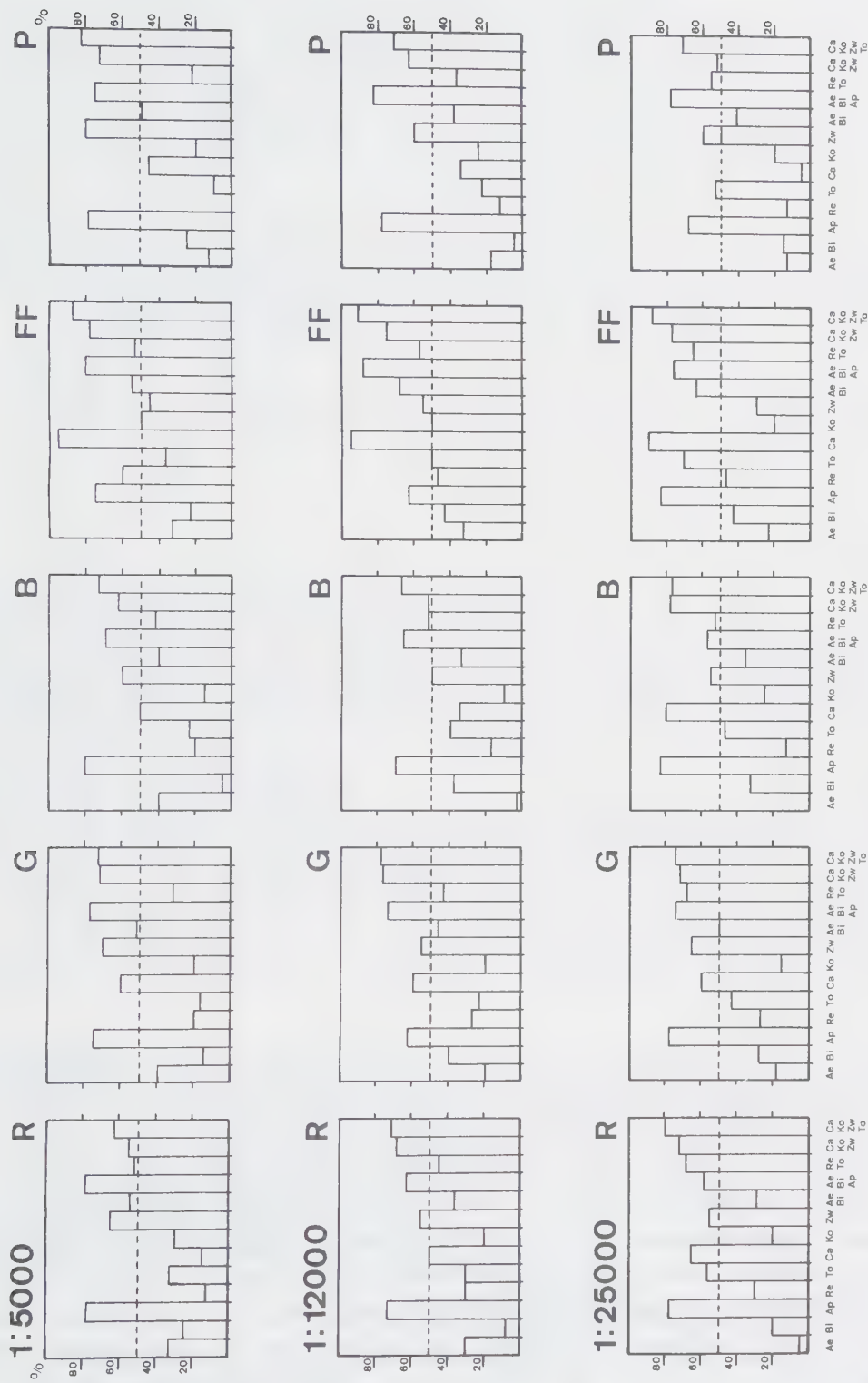


Fig. 52 Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitormessungen für verschiedene Kulturen und verschiedene Filmfilter-Kombinationen in den 3 Massstäben 1 : 5'000 , 1 : 12'000 und 1 : 25'000

öffnung von 3mm, wie in den vorangegangenen Darstellungen verwendet, einer solchen von 1mm gegenübergestellt. Benützt man die kleinere Blende, so verbessert sich die Trennung gesamthaft um rund 10%. Einzelne Kulturen zeigen jedoch grosse Schwankungen. So verbessert sich die Erfolgsrate bei den Carotten für Rot von 18% auf 80%. Bei den Reben und Zwiebeln ist dagegen im Grün- und Blaubereich ein Rückgang von 10% zu verzeichnen. Die Ergebnisse sind also stark von der gewählten Blende beeinflusst. Es empfiehlt sich daher, verhältnismässig kleine Blenden zu verwenden, da diese durchschnittlich bessere Resultate liefern.

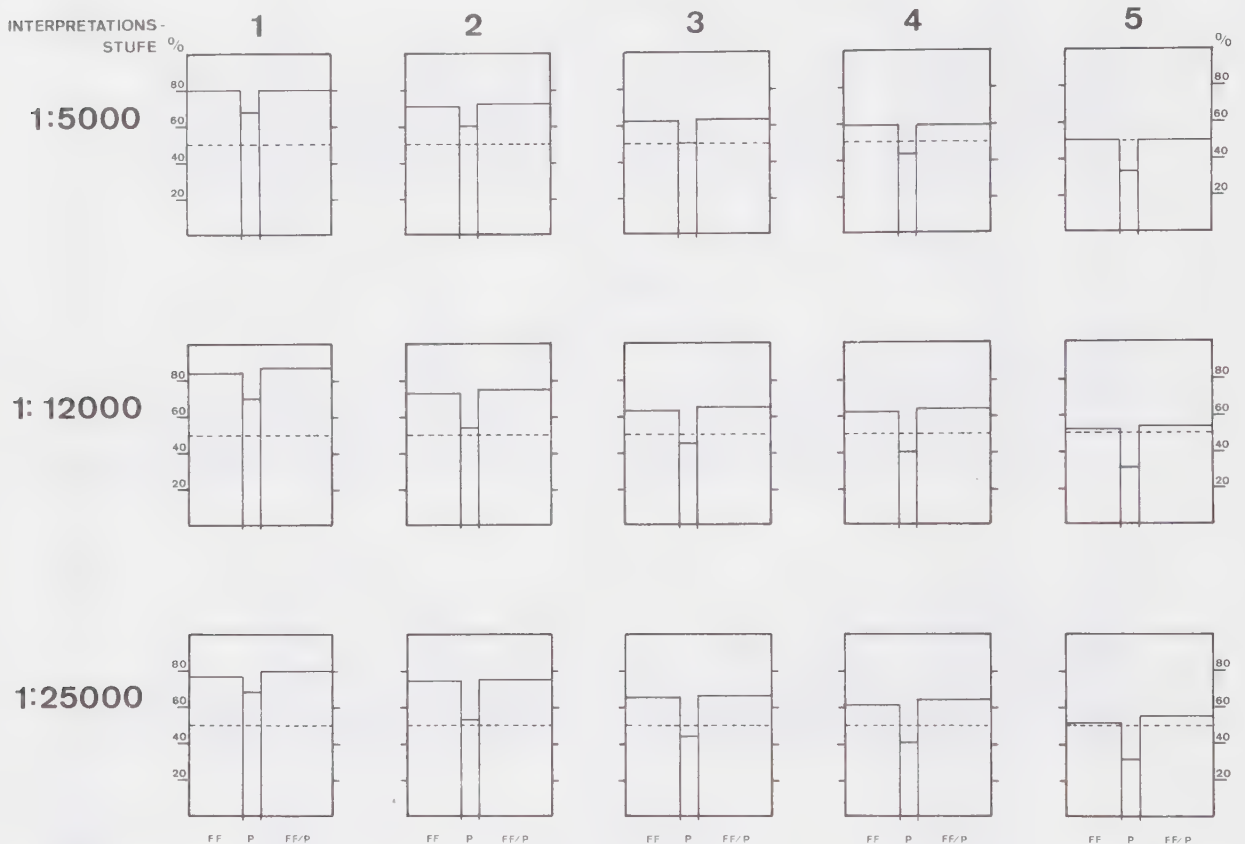


Fig. 53 Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometermessungen für die Interpretationsstufen 1 - 5 und verschiedene Filme in den 3 Massstäben 1 : 5'000, 1 : 12'000, 1 : 25'000

Zum Schluss haben wir in den Fig. 52 und 53 die bisher besprochenen Erfolgsraten mit denen aus den Luftbildern im Massstab 1 : 12'000 und 1 : 25'000 verglichen. Das Ergebnis sei gleich vorweggenommen. Wieder erwarten ergibt sich, gesamthaft gesehen, mit kleiner werdendem Massstab keine wesentliche Verschlechterung. Wir führen diesen Umstand auf die ungefähr proportional zum Massstab veränderte Blendenöffnung zurück. Ein Vergleich der mit einer Blendenöffnung von 1mm ermittelten Erfolgsraten für die Massstäbe 1 : 5'000 und 1 : 25'000 zeigt denn auch eine Verbesserung auf der Seite des grösseren Massstabes. Der bei Betrachtung der farbigen Luftbilder so deutlich in Erscheinung tretende Blaustich im Massstab 1 : 25'000 hat sich nicht informationsschmälernd ausgewirkt. Wohl stellen wir bei einzelnen Kulturen, beispielsweise bei den Äpfeln oder Zwiebeln, einen Rückgang der Erfolgsraten fest,



dagegen sind andere, wie die Carotten oder Tomaten, im kleineren Massstab sogar besser getrennt worden.

Im Massstab 1 : 12'000 wurden sogar eher etwas bessere Resultate als im Massstab 1 : 5'000 erzielt. Da beim Massstab 1 : 25'000 nur ein geringes Absinken der Erfolgsraten zu beobachten war, darf ein Massstab von 1 : 12'000 bis 1 : 20'000 für den untersuchten Landnutzungstyp als optimal betrachtet werden.

Fig.53 zeigt eine Uebersicht über die Resultate der 5 Interpretationsstufen für verschiedene Massstäbe und gleichzeitig für verschiedene Filmfilter-Kombinationen. Dabei können allgemein die folgenden wesentlichen Feststellungen gemacht werden :

- Die Resultate weisen bei den 3 untersuchten Massstäben praktisch keine Unterschiede auf.
- Die Kombination Farbfilm / Schwarzweiss-Film führt, wenn überhaupt, nur eine Verbesserung um wenige Prozente herbei.
- Der Farbfilm liefert durchwegs um 10 - 20 % bessere Ergebnisse als der Schwarzweiss-Film.
- Für die Interpretationsstufe 1 (Baumkulturen, Reben, Gemüse) ergibt sich eine Trennung beim Farbfilm von ca 80% und für die Interpretationsstufe 5 (alle 8 Kulturen einzeln) noch eine solche von ca 50%, immer bezogen auf das entsprechende Aufnahmedatum.

## 8. Stereohöhe als quantitatives Interpretationskriterium

Die Stereohöhe soll als weiteres Kriterium zur Interpretation der Obst- und Gartenbaulandschaft im Luftbild herangezogen, mit einer möglichst einfachen Methode bestimmt und auf ihre Aussagekraft allein und in Kombination mit den Densitometer-Messungen geprüft werden.

### 8.1 Stereoskop und Stereomikrometer

Zur Ermittlung der Stereohöhe wurde ein einfaches Spiegelstereoskop WILD ST4 verwendet (Fig.54). Es dient der räumlichen Betrachtung von Stereobildpaaren.

Mit dem Stereomikrometer kann der relative Höhenunterschied ( $\Delta h$ ) ermittelt werden. Für die Bestimmung des Höhenunterschiedes sei auf die Gebrauchsanweisung der WILD Spiegelstereoskope ST4 verwiesen.

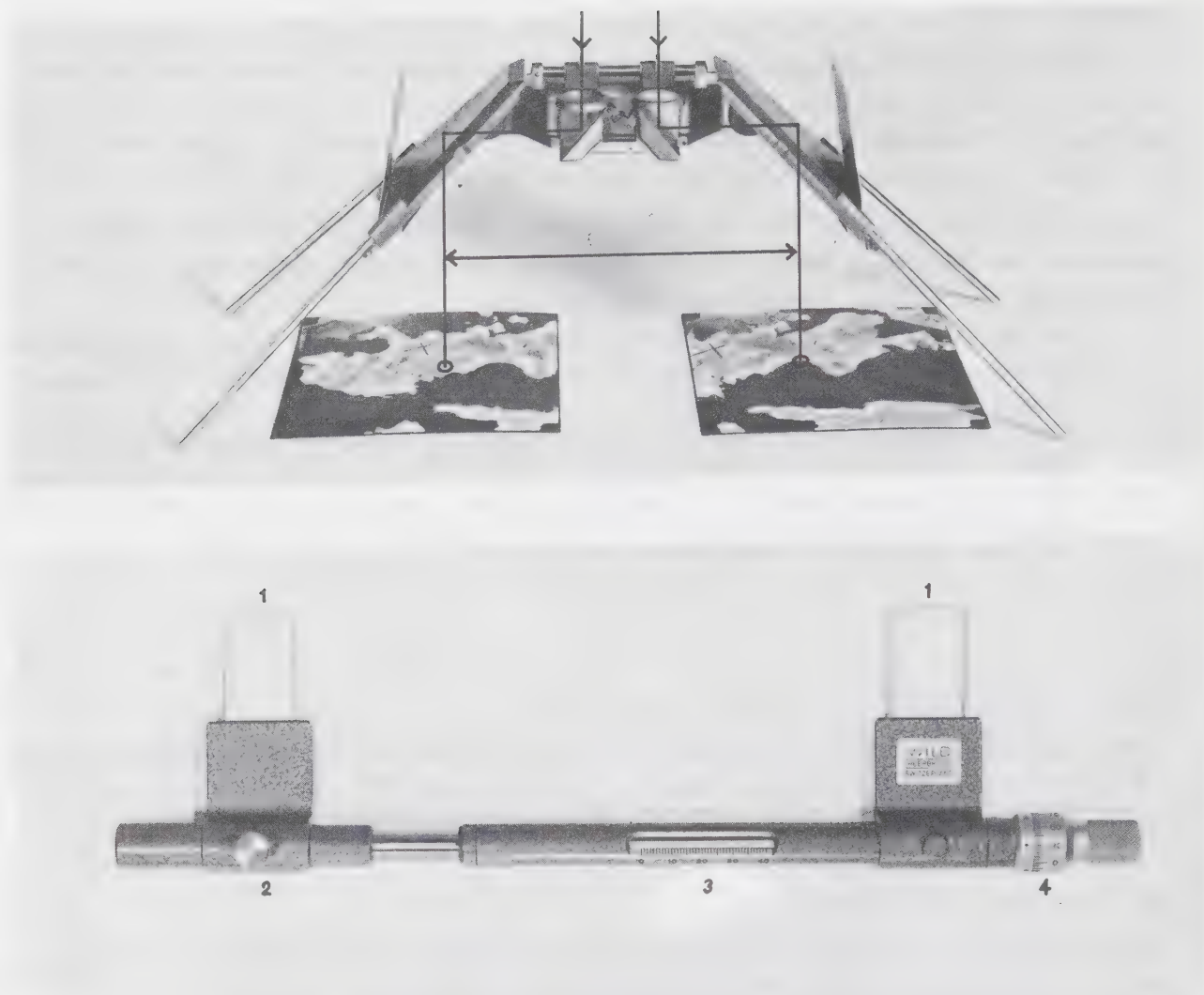
### 8.2 Arbeitsweise

Zuerst wurde für eine Auswahl von Feldern aller Kulturen die Stereohöhe bestimmt. Bei einer anschliessenden Feldbegehung wurden ebenfalls für eine grosse Anzahl von Feldern aller Kulturen - wobei bewusst verschiedene Anbauarten und Sorten berücksichtigt wurden - die Höhe der einzelnen Pflanzen gemessen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenstellen:

| Kultur    | Höhenmessung * mit Stereomikrometer | Höhenmessung im Gelände |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------|
| Aepfel    | 3,50 m                              | 2,00 - 5,00 m           |
| Birnen    | 3,80 m                              | 2,00 - 4,50 m           |
| Aprikosen | 4,00 m                              | 3,00 - 4,50 m           |
| Reben     | 1,20 m                              | 1,05 - 2,00 m           |
| Tomaten   | 1,00 m                              | 1,00 - 1,10 m           |
| Carotten  | --                                  | 0,08 - 0,12 m           |
| Kohl      | --                                  | 0,15 - 0,25 m           |
| Zwiebeln  | --                                  | 0,05 - 0,35 m           |

\* Durchschnittswerte von 10 Messungen



Unten: Stereomikrometer

- 1 Auswechselbare Glasplättchen mit Kreuz-, Ring- und Punktmarken
- 2 Festklemmschraube der Grobeinstellung
- 3 Millimeterskala
- 4 Mikrometertrommel mit Hundertstelmillimeterablesung

Fig. 54 Spiegelstereoskop WILD ST4 und Stereomikrometer

Basierend auf diesem Test, liess sich eine einfache eindeutige Gliederung der Kulturen nach ihrer Höhe vornehmen :

|                               |                          |            |
|-------------------------------|--------------------------|------------|
| Aepfel / Birnen / Aprikosen : | guter Stereoeffekt       | = Klasse 3 |
| Reben / Tomaten               | : mittlerer Stereoeffekt | = Klasse 2 |
| Carotten / Kohl / Zwiebeln :  | kein Stereoeffekt        | = Klasse 1 |

Eine derartige Gliederung - zumindest bei grossmassstäbigen Luftbildern - liesse sich in der Praxis ohne direkte Messung, also rein subjektiv durch Betrachtung der Bilder mit Hilfe des Stereoskops durchführen, ohne dass dabei ins Gewicht fallende Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden müssten. Auf kleinmassstäbigen Luftbilder ( $M < 1 : 20'000$ ) wäre nur noch eine

Aufteilung in Felder mit oder ohne Stereoeffekt möglich. Eine genaue Messung, z.B. im Stereoautographen, lohnt sich kaum, da die Streuung der Höhen in der Natur z.B. innerhalb der Baumkulturen zu gross ist und keine eindeutigere Differenzierung ergibt; es sei denn in dem zu bestimmenden Geländeabschnitt seien gleiche Anbaumethoden und gleiche Sorten innerhalb einer Baumkultur vorhanden (z.B. bei den Birnen nur "Palmiten" und nur die Sorte "Gute Luise"). Bei der Vielfalt, die hingegen im untersuchten Raum vorkommt, steht der Zeitaufwand für eine genauere Messung mit dem Stereomikrometer in keinem Verhältnis zum Resultat. Darum begnügten wir uns mit einer einfachen Klassifizierung in drei Gruppen.

### 8.3 Quantitative Interpretation

Hierzu wurde ebenfalls das in Kapitel 7.3 beschriebene Trennverfahren verwendet. Da nur ein Parameter, nämlich die Stereohöhe, beschränkt auf 3 Höhenklassen, als Kriterium zur Klassifizierung der einzelnen Kulturen bzw. Kulturgruppen vorlag, ergaben einzig die Interpretationsstufen 1 und 2 (vergl. Fig. 45) gute Resultate von 89,17 % bzw. 72,5 % (Fig. 55).

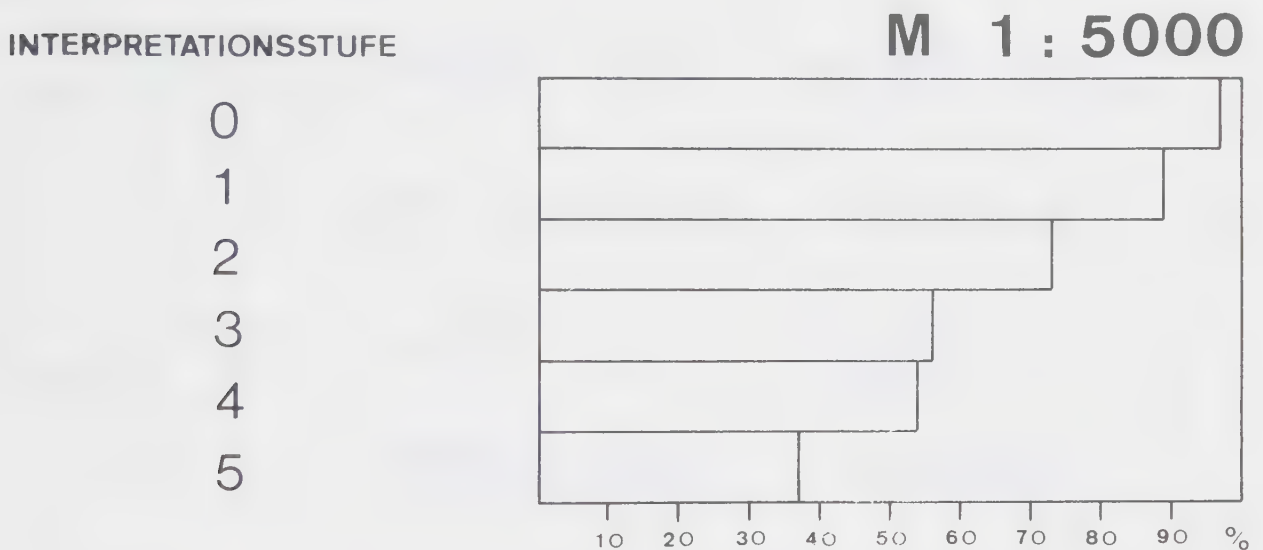


Fig. 55 Erfolgsraten der Stereohöhenmessungen für die Interpretationsstufen 0 - 5 im Massstab 1 : 5'000

Immerhin weist die Stufe 5 (alle Einzel-Kulturen) bei dieser sehr einfachen Klassifizierungsmethode noch eine Erfolgsrate von 38% auf. Die zusätzlich eingetragene Interpretationsstufe 0 zeigt die zu erwartende Erfolgsrate (97,5%) bei einer den Wuchshöhen am besten entsprechenden Gruppenbildung von Baumkulturen, Reben/Tomaten, und den restlichen drei Gemüsearten.

## 9. Kombination der Densitometermessungen mit den Stereomessungen

In einem nächsten Schritt wurden nun die Densitometermessungen (Kapitel 7.3) mit der Stereohöhe (Kapitel 8.3) kombiniert. Fig.56 und 57 zeigen die Erfolgsraten, die wir durch Kombination der beiden Interpretationsmerkmale erhalten. In Fig.56 sind die Ergebnisse für ver-

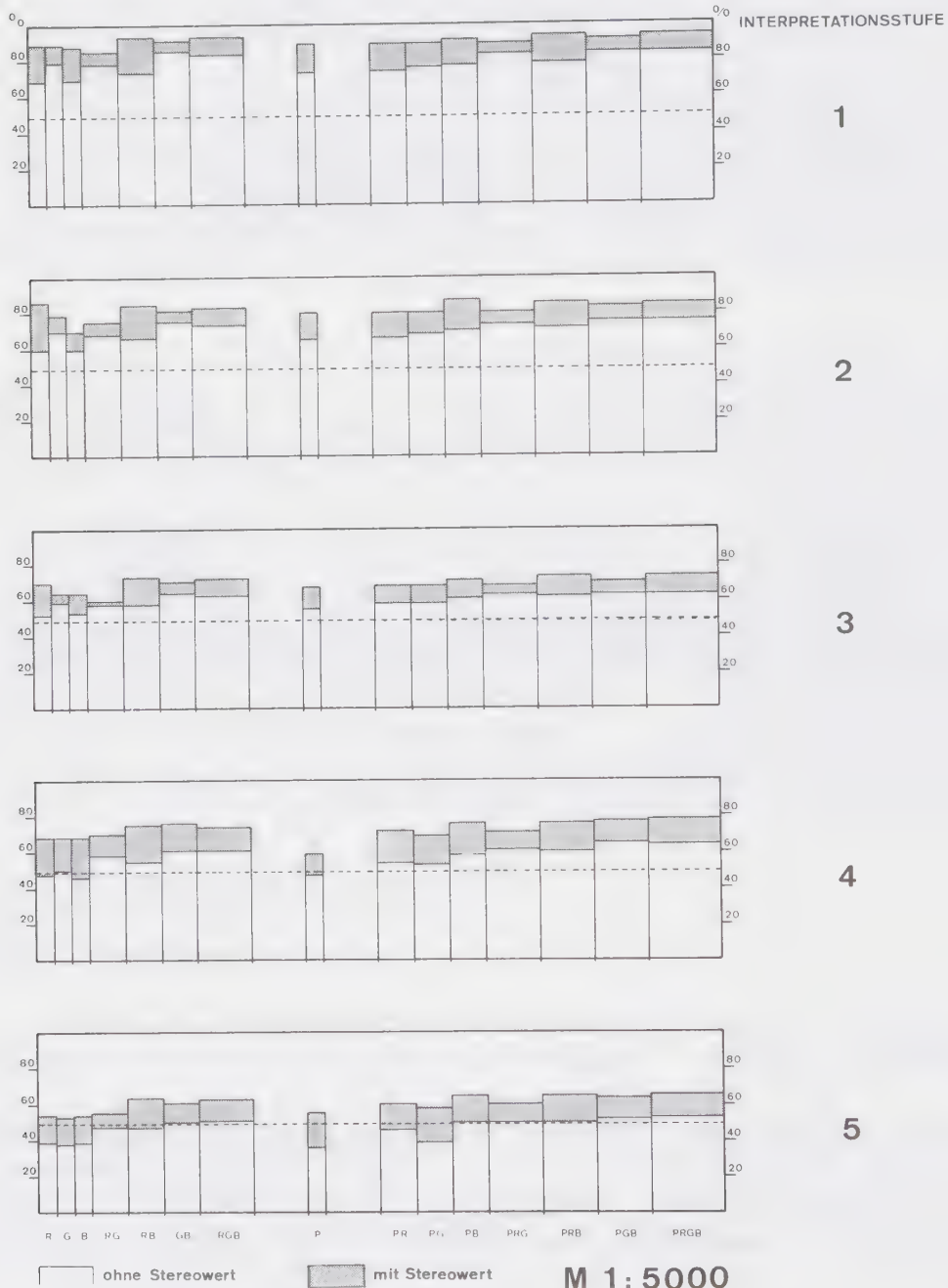


Fig.56 Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometer- und Stereohöhenmessungen für verschiedene Filmfilter-Kombinationen in den Interpretationsstufen 1 - 5 , M 1:5'000



schiedene Filmfilter-Kombinationen in den 5 Interpretationsstufen (vergl. Fig. 45) im Massstab 1 : 5'000 dargestellt. Die durch Kombination der Dichtemessungen mit den Stereomessungen erzielte Verbesserung der Erfolgsraten ist mit einer punktierten Signatur gekennzeichnet. Sie beträgt 10 - 20%. Auch hier (vergl. Fig. 46 - 50) zeigt die Kombination Rot - Blau - Stereo bereits die besten Resultate. Eine zusätzliche Verbindung mit der Grünkomponente oder mit dem Schwarzweiss-Film verbessert die Ergebnisse nur ganz unwesentlich. Für die Interpretationsstufe 5, d.h. die Klassifizierung aller 8 untersuchten Kulturen, ergibt sich eine Erfolgsrate von 67,5%. Für die einzelnen Kulturen erhalten wir die folgenden Werte :

|           |        |
|-----------|--------|
| Äpfel     | 47,5 % |
| Birnen    | 60,0 % |
| Aprikosen | 80,0 % |
| Reben     | 83,3 % |
| Tomaten   | 53,3 % |
| Carotten  | 95,0 % |
| Kohl      | 60,0 % |
| Zwiebeln  | 75,0 % |

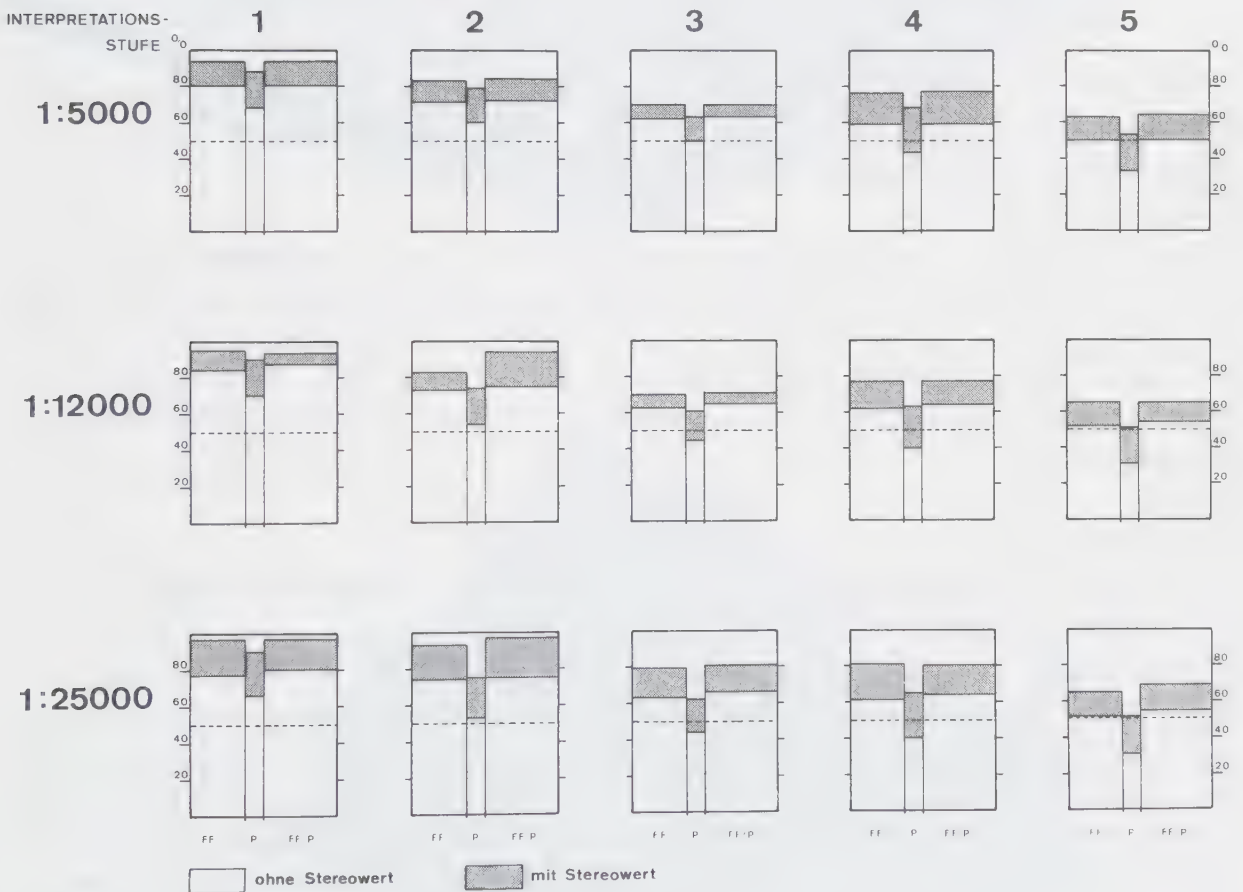


Fig. 57 Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometer- und Stereohöhenmessungen für die Interpretationsstufen 1 - 5 und verschiedene Filme in den 3 Massstäben 1 : 5'000 1 : 12'000 und 1 : 25'000

Die Trennung in Baumkulturen, Reben und Gemüse (Interpretationsstufe 1) liefert ein Resultat von 94,17% (d.h. für die Baumkulturen 100%, für die Reben 83,33% und für das Gemüse 89,91%). Die Ergebnisse für die beiden anderen Massstäbe finden wir in Fig. 57 dargestellt. Wir erhalten hier ebenfalls eine Verbesserung von 10 - 20 %.

Mit wenigen Ausnahmen brachte die Kombination mit dem Schwarzweiss-Film keine Verbesserung, die den grösseren Aufwand an Messungen und Filmmaterial rechtfertigen würde.

Das relativ gute Resultat beim Massstab 1 : 25'000 darf hingegen nicht überbewertet werden. Die oft geschätzten Resultate der Stereohöhe wurden durch die beim Messen der grossen Massstäbe gemachten Erfahrungen positiv beeinflusst. Ein noch kleinerer Massstab gestattet höchstens noch eine Gliederung in zwei Stereoklassen (d.h. Stereoeffekt oder kein Stereoeffekt). Diese fällt bei einem Massstab  $< 1 : 35'000$  vollständig aus. Die Verbesserung der Erfolgsraten durch den Stereoeffekt würde in diesem Falle sehr schnell aufgehoben. Hingegen bringen grösserer Massstäbe als 1 : 12'000 wiederum keine Verbesserung; 1 : 12'000 - 15'000 sind auch in diesem Zusammenhang die ökonomischsten Bildmassstäbe.

## 10. Quantitative Erfassung der Textur

Als drittes Kriterium neben Grauton und Stereoeffekt kommt vor allem die Textur in Frage. Da Obstbaumkulturen besonders ausgeprägte Texturen aufweisen, lag es auf der Hand, dieses Kriterium näher zu untersuchen.

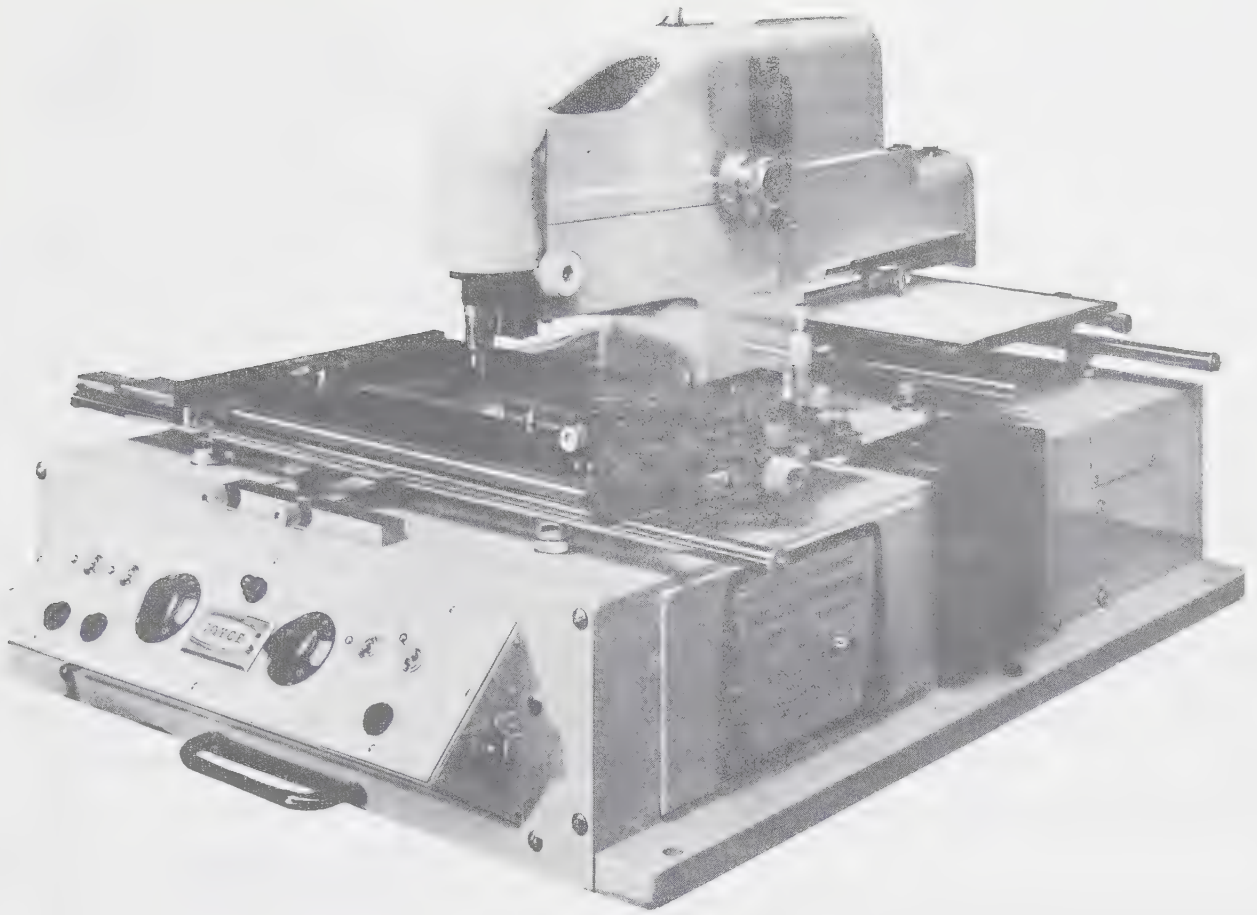
Weil aber eine direkte quantitative Erfassung aus technischen Gründen nicht möglich war, konnten die gewonnen Ergebnisse nicht mit den anderen Resultaten (aus Kapitel 7.3 und 8.3) kombiniert werden. Hingegen konnten umfangreiche Versuche mit einem Mikrodensitometer mit graphischem Output vorgenommen werden. Sie zeigten Möglichkeiten zur besseren Erfassung der Textur auf und enthielten zahlreiche wertvolle Ergebnisse im Hinblick auf eine spätere quantitative Erfassung.

### 10.1 Mikrodensitometer

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen im wesentlichen auf der Gebrauchsanweisung der Firma JOYCE - LOEBL und zum Teil auf Akça (1970).

Das Arbeitsprinzip des verwendeten Mikrodensitometers (Fig. 58a und b) der Firma JOYCE - LOEBL Modell MK III CS beruht auf einem Doppelstrahlssystem, in welchem zwei Strahlen von einer einzigen Lichtquelle, auf zwei getrennten optischen Wegen abwechselnd zu einer Photozelle geführt werden. Wenn die beiden Strahlenbündel von verschiedener Intensität sind, produziert die Photozelle ein Differenzsignal, das, nach einer Verstärkung, einen Servomotor veranlasst, einen geeichten Graukeil so zu bewegen, dass die Intensitätsdifferenz beider Strahlenbündel am Ausgang der beiden optischen Wege Null wird. So wird fortlaufend durch die Position des geeichten Graukeils, dessen Bewegung auf eine Schreibfeder übertragen wird, die optische Dichte an der jeweiligen Stelle der Messlinie registriert.

Fig. 59 stellt das Messprinzip schematisch dar. Dabei ist  $L_o$  die Lichtquelle,  $L_m$  gibt den einen,  $L_v$  den anderen optischen Weg an. S ist ein synchronisierter Motor mit einem Verschluss, der die Strahlenbündel abwechselnd durchlässt; LB der Objektisch, auf dem das zu



*Automatic Recording Microdensitometer Mk. 111C.*

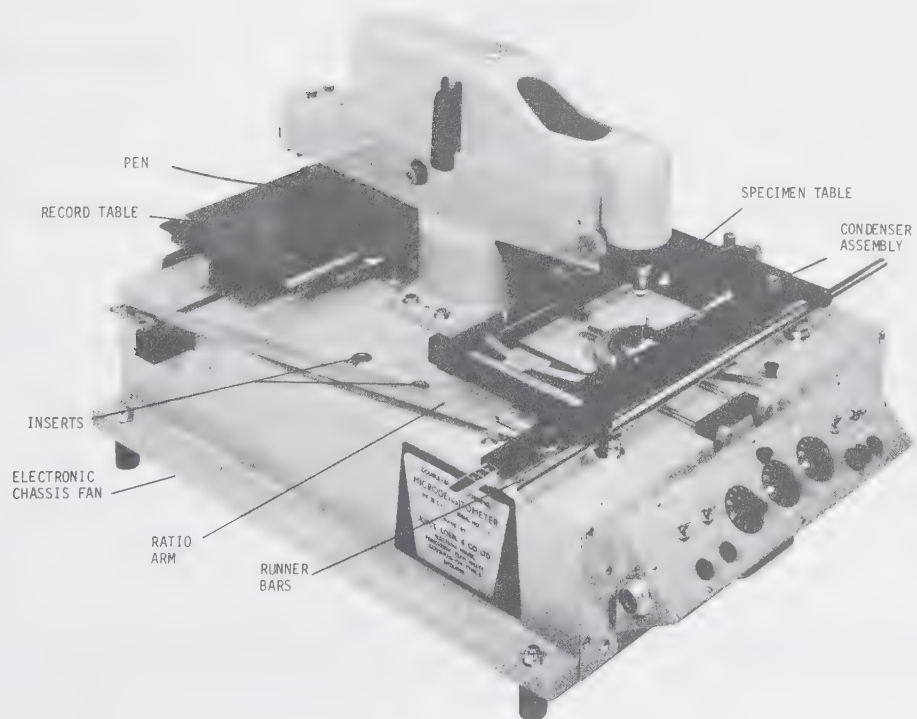


Fig. 58a und b Automatic Recording Microdensitometer MK III CS der Firma JOYCE - LOEBL

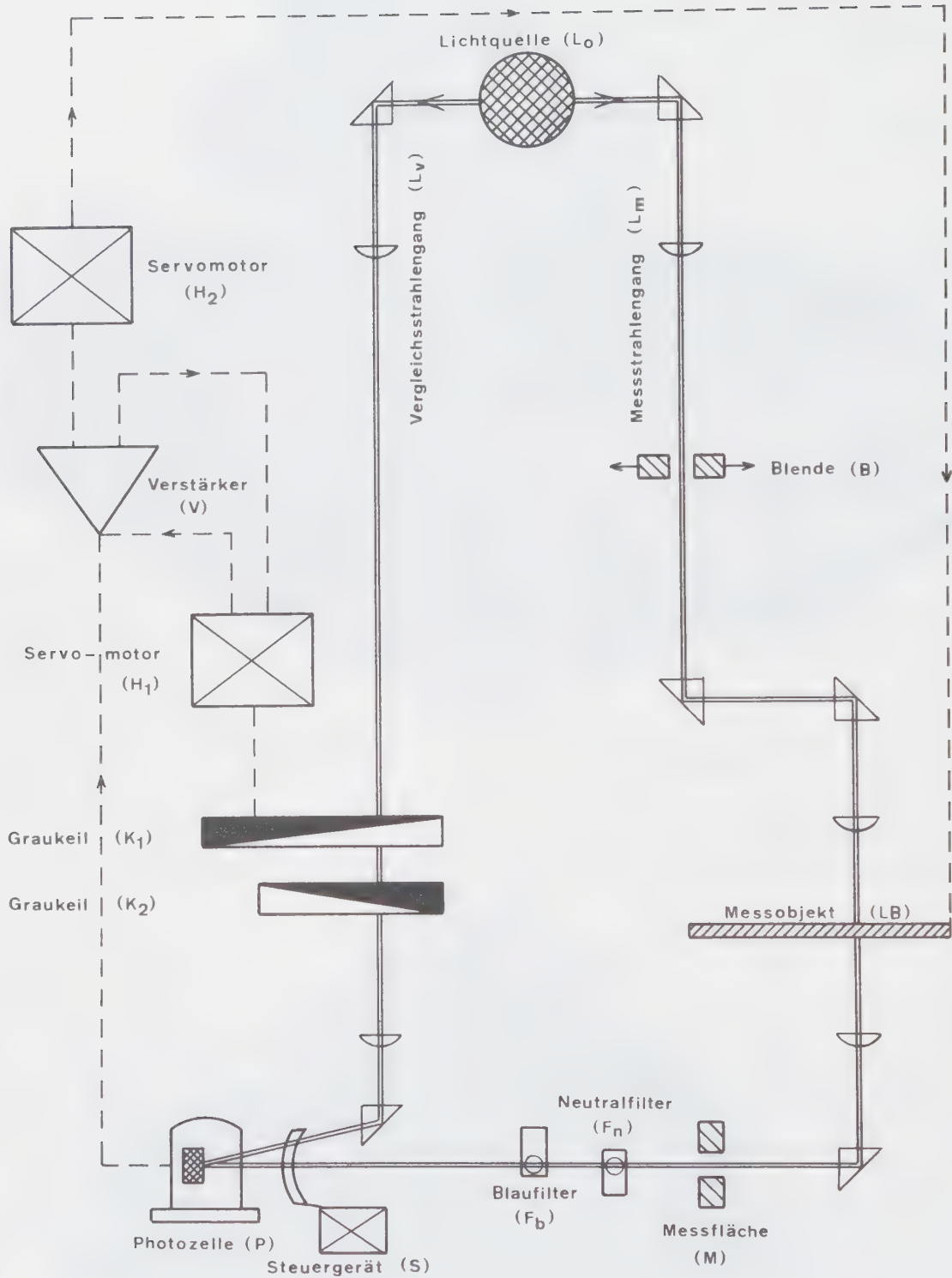


Fig. 59 Schematische Darstellung der optischen Wege und des Servosystems beim Mikrodensitometer MK III CS der Firma JOYCE - LOEBL



messende Objekt, in diesem Fall das Luftbild, fixiert wird. Die Position des optischen Graukeils  $K_1$  an dem eine Schreibfeder angeschlossen ist, wird wie folgt eingestellt; das Differenzsignal der Photozelle P wird einem Verstärker V übermittelt, der einen Servomotor  $H_1$  in Bewegung setzt. Der Objekt- und der Registriertisch werden durch ein anderes Servosystem  $H_2$  proportional zur Geschwindigkeit des Grades des Dichteauschlages angetrieben, d.h. wenn der Ausschlag klein ist, ist die Geschwindigkeit der Tischbewegung gross und umgekehrt. Die Position des geeichten optischen Graukeils  $K_1$ , und daher auch der Schreibfeder, wird festgelegt durch einen anderen auswechselbaren Graukeil  $K_2$  im Lichtweg  $L_v$ . Neutrale Filter  $F_n$  sind nötig, um gleiche Bedingungen zwischen den beiden Strahlengängen bei Eintreffen in der Photozelle herzustellen. Der Messstrahl  $L_m$  passiert den Vorspalt, der die Grösse und die Form des effektiven Lichtpunktes auf dem Messobjekt und somit auch auf der Oeffnungsplatte reguliert. Durch Einstellen einer Blende B kann der für die Messung bestgeeignete Durchmesser (Vorspalt) gewählt werden. Die Breite des effektiven Lichtpunktes kann laufend reguliert werden. Die Blende kontrolliert die Höhe des Lichtpunktes, sobald die Breite desselben eingespielt ist. Ein breiteres Gesichtsfeld, das eine bessere Orientierung beim Messen gestattet, wird durch ein Paar roter Gläser erzielt, dort eingepasst, wo die Breite des Strahles kontrolliert wird. Ein Blaufilter  $F_b$ , hinter der Messfläche angebracht, absorbiert alles rote Licht; so bleibt das breitere Gesichtsfeld erhalten, der SEV = Sekundärelektronenvervielfacher (Photozelle P) reagiert aber nur auf das weisse Licht, das vom Vorspalt festgelegt wurde.

Der bestwirksame Vorspalt ist dann erreicht, wenn - bei gegebener Vergrösserung - das Bild genau in den Endspalt (Messfläche M) passt.

Der Vorspalt wird durch die Abdeckung der Abbildung hergestellt und kontrolliert die belichtete Fläche auf dem Messobjekt. Um das Streulicht auf ein Minimum zu reduzieren, muss die belichtete Fläche so klein wie möglich sein. Falls der Vorspalt grösser ist als notwendig, wird nicht nur Streulicht durchgelassen, sondern es kann auch eine Doppelreflexion zwischen dem Objektiv und dem Messobjekt auftreten (Schwarzschildeffekt), sodass man nicht mehr korrekte absolute Dichtewerte erhält. Ausserdem darf die belichtete Fläche nicht viel grösser sein als die tatsächliche Endöffnung, um die Zerstreuung des Lichtes von der Oeffnungsplatte in den Spalt zu verhindern. Die Wahl der Oeffnungsbreite ist nicht nur durch den erforderlichen Detaillierungsgrad bestimmt, sondern auch von der Notwendigkeit des Korn-Integrations-Effekts. Die effektive Spaltbreite S ist die Breite der tatsächlichen Endöffnung  $A_0$ , dividiert durch die totale optische Vergrösserung. Diese entspricht der Vergrösserungskraft des Objektivs  $F_1$  mal einen Projektionsfaktor  $F_2$  von angenähert 2,2.

Ist der Vergrösserungsfaktor des Objektivs relativ klein, und kann die tatsächliche Endöffnung sehr klein gehalten werden, so ist leicht zu erkennen, dass effektive Spaltbreiten unter  $1\mu$  einstellbar sind und das Gerät somit eine hohe Detailzeichnung erreicht. Neben der Spaltbreite kann auch die Spalthöhe unabhängig eingestellt werden. Der Mikrodensitometer Modell MK III CS hat eine tatsächliche Spalthöhe, die sich maximal auf 25 mm ausdehnen lässt. Die Wahl der Form der Spaltöffnung wird sich nach der Art der Textur richten. Bei streifigen Texturen, wie sie bei Baumkulturen im Untersuchungsgebiet häufig sind, wird man mit Vorteil eine extrem rechteckige Form (grosse Spalthöhe) wählen und quer zu den Baumreihen messen. Für mehr kreisförmige Texturen empfehlen sich dagegen quadratische Spaltöffnungen. Die Wahl von Spaltbreite und Spalthöhe muss sich folglich nach der Art des Objekts und nach dem gewünschten Detaillierungsgrad richten, darf andererseits aber nicht die Kornintegration erreichen.

Die mechanische Verbindung zwischen Messtisch und Registriertisch erlaubt auf einfache Weise eine sehr genaue Distanzmessung auf dem Diagramm und damit am Messobjekt. Jedes Uebersetzungsverhältnis durch den Verbindungsarm ist nominal. Nur bei grossen Uebersetzungsverhältnissen werden kleine technische Toleranzen mit dem Uebersetzungsfaktor multipliziert.

Es muss eine sorgfältige Unterscheidung gemacht werden zwischen dem möglichen Dichtebereich (maximale Dichte) und den noch linear registrierbaren Dichtegrenzen. Die maximale Dichte, die das Mikrodensitometer erreichen kann, beträgt unter optimalen Bedingungen ca 5 - 6 D und ist begrenzt durch die Leistung der Photozelle. Die Grenzen des Messbereichs können allgemein festgelegt werden, da sie abhängig sind von verschiedenen Bedingungen wie optische Vergrösserung, Spaltbreite, Messspaltfläche usw. Es ist einleuchtend, dass für eine kleine Oeffnung der Messbereich kleiner ist als bei einer relativ grossen Messspaltfläche. Andererseits wird der Bereich bei gleicher Spaltbreite vergrössert, wenn dabei die optische Vergrösserung verkleinert wird. Die Lichteinheit pro Flächeneinheit wird immer unter der Annahme vergrössert, dass mit der reduzierten Vergrösserung die Spalthöhe noch ausgefüllt ist.

Auffallend ist also, dass bei jeder beliebigen optischen Vergrösserung eine Erweiterung der Spalthöhe eine Vergrösserung des Dichteumfangs zur Folge hat. Die kleinste optische Vergrösserung ergibt die grösste Intensität pro Flächeneinheit der Oeffnung.

In diesem Zusammenhang sollte noch darauf hingewiesen werden, dass eine Halbierung der optischen Vergrösserung nicht einer Halbierung von Spalthöhe und -breite gleichkommt.

Wenn es genügt, die relative Dichte zu messen - wie bei unseren Untersuchungen - so können die Unterschiede zwischen den Scheitelpunkten der aufgezeichneten Kurven sofort als Dichteunterschiede ausgedrückt werden, da der Dichtegradient des verwendeten Vergleichsgraukeils bekannt ist. Die Bestimmung der absoluten Dichte erfolgt mit neutralen Filtern, deren Dichten bekannt sind. Die Filter werden auf dem Messtisch befestigt und ihre Dichten, die als horizontale Linie auf dem Registrierpapier erscheinen, gemessen. Davon ausgehend, lässt sich eine absolute Dichteskala erstellen.

Wichtig ist in beiden Fällen, dass man, um richtig vergleichbare Messwerte zu erhalten, die Objekte unter gleichen Bedingungen messen muss, also während der Messungen keine Veränderungen an der effektiven Spaltbreite, am Vorspalt, an der optischen Vergrösserung usw. vornimmt. Die mechanische Verbindung zwischen Objekt- und Aufzeichnungstisch lässt die Möglichkeit offen, die vertikale Ausdehnung der Aufzeichnung zu variieren. Das ist oft wünschenswert, wenn Details von hoher und niedriger Dichte in der gleichen Messprobe sind.

## 10.2 Arbeitsweise

Die nachfolgend beschriebenen Mikrodensitometermessungen konnten am Photographischen Institut der ETH ausgeführt werden.

In einer Reihe von systematischen Versuchen wurde zuerst die geeignetste Spaltfläche ermittelt, die einerseits eine möglichst gute Differenzierung der Untersuchungsobjekte gestattet, aber andererseits noch keine durch das Korn bedingte Veränderung hervorruft.

Fig. 60 zeigt die für verschiedene Spaltbreiten charakteristischen Kurven. Bei  $10\mu$  zeigt sich bereits ein für unsere Anforderungen zu differenzierter Verlauf der Kurve. Die ganz kleinen Schwankungen zwischen den maximalen und minimalen Ausschlägen tragen nichts mehr zur bes-

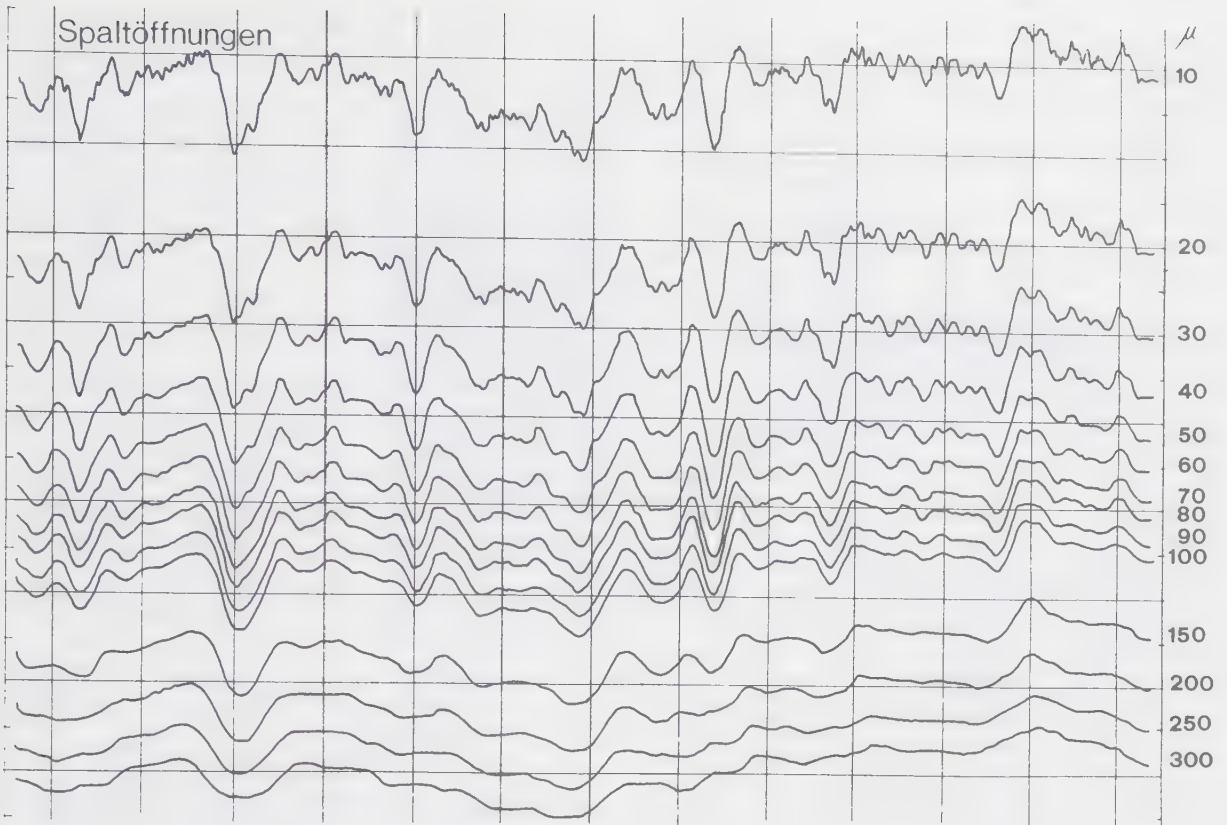


Fig. 60 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Spaltbreiten von 10 - 300  $\mu$  des gleichen Messprofils

seren Interpretation bei. Umgekehrt bieten die Kurven mit einer über 150  $\mu$  liegenden Spaltbreite zu wenig Informationen. Eine Spaltbreite von ca 50 - 60  $\mu$  ergab für den Bildmassstab von 1 : 5'000 die brauchbarsten Resultate für unsere Untersuchungsobjekte. Auf rechnerischem Weg ermittelten wir anschliessend, proportional zum Massstab 1 : 5'000, die Spaltbreiten für die Massstäbe 1 : 12'000 und 1 : 25'000.

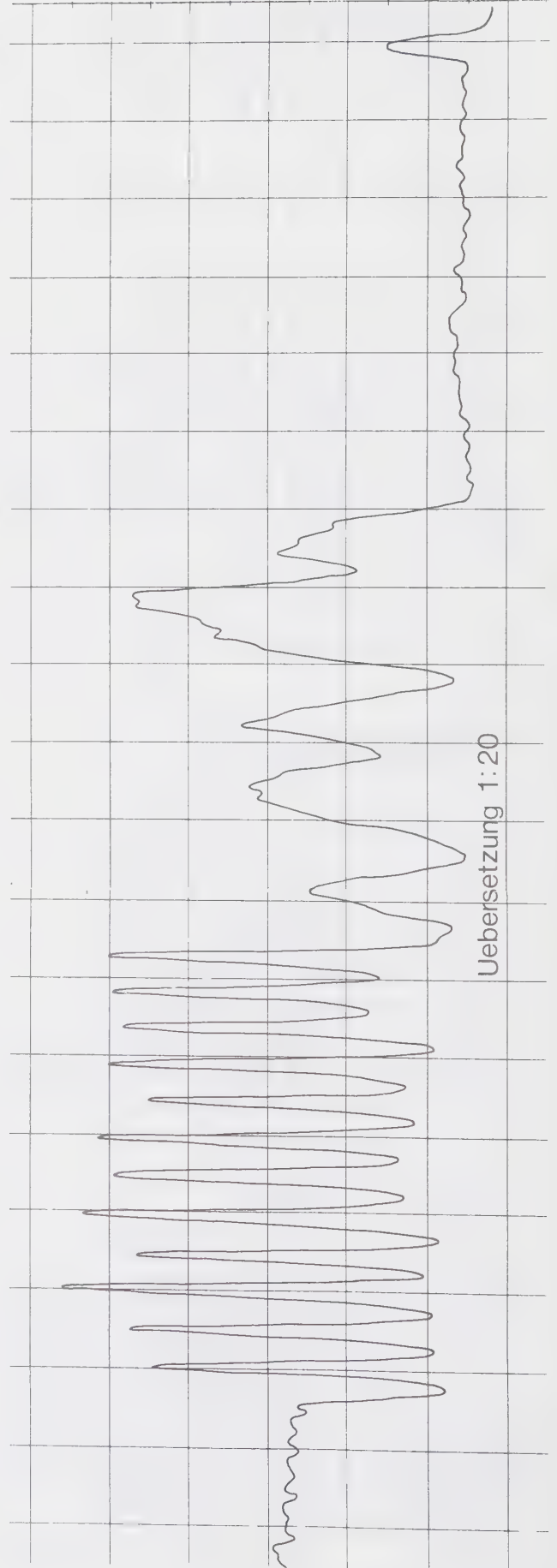
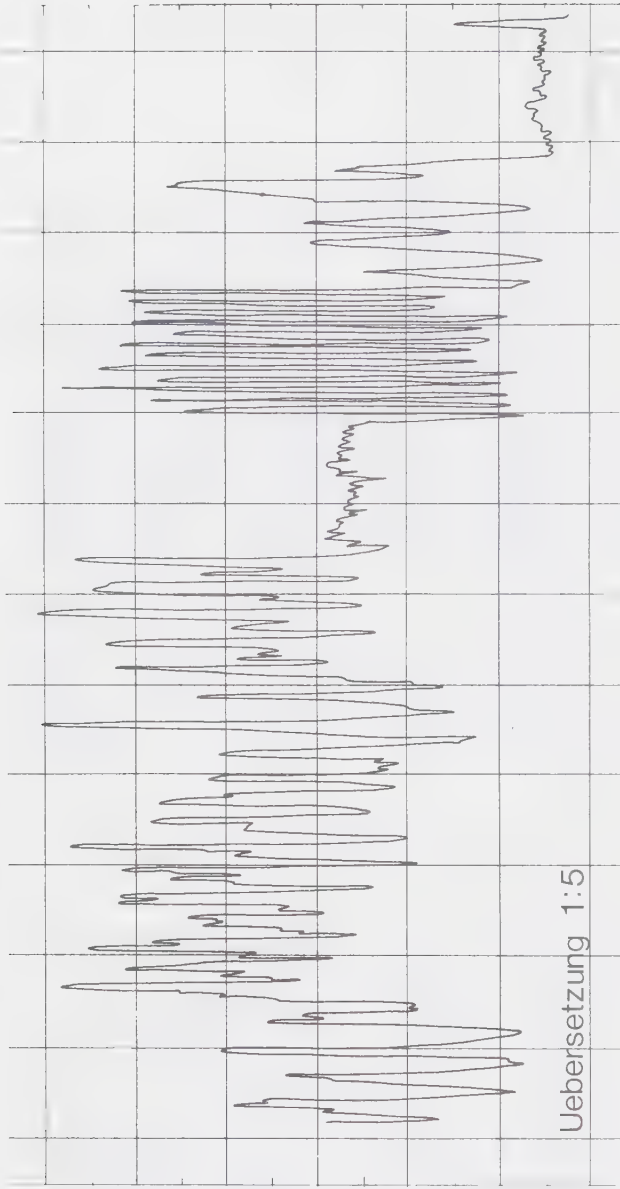
Ebenfalls auf empirischem Weg versuchten wir ein den Massstäben entsprechendes Uebersetzungsverhältnis für die Kurvenaufzeichnung zu finden. Die Darstellung zweier möglicher Uebersetzungen 1 : 5 und 1 : 20 für den Bildmassstab 1 : 5'000 zeigt Fig. 61. Beim ersten Beispiel (1 : 5) liegen die einzelnen Ausschläge so eng beieinander, dass eine visuelle Auszählung und Interpretation Schwierigkeiten bereitet. Andererseits zieht sich die Aufzeichnung bei einem zu grossen Verhältnis allzusehr in die Länge, d.h. das abgetastete Profil ist infolge der normierten Papiergrösse nur sehr kurz.

Wir wählten auch hier einen geeigneten Mittelweg. Entsprechend der zur Verfügung stehenden Uebersetzungsverhältnisse verwendeten wir, so weit möglich, eine den Massstäben proportionale Uebersetzung, um später ohne grosse Umstellung die Resultate der Messungen aus Bildern verschiedener Massstäbe untereinander vergleichen zu können. Für die in Kapitel 10.3 dargelegten Resultate ergaben sich folgende Einstellungen :

| Massstab                | 1 : 5'000         | 1 : 12'000  | 1 : 25'000  |
|-------------------------|-------------------|-------------|-------------|
| Spaltbreite             | 57,72 $\mu$       | 24,25 $\mu$ | 11,54 $\mu$ |
| Spalthöhe               | 14,43 $\mu$       | 14,43 $\mu$ | 14,43 $\mu$ |
| Uebersetzungsverhältnis | 1 : 10            | 1 : 20      | 1 : 50      |
| Graukeil                | 2,1 / 0, 109 d/cm | Graufilter  | 0,58        |



Fig. 61 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Uebersetzungen (1:5, 1:20) des gleichen Messprofils





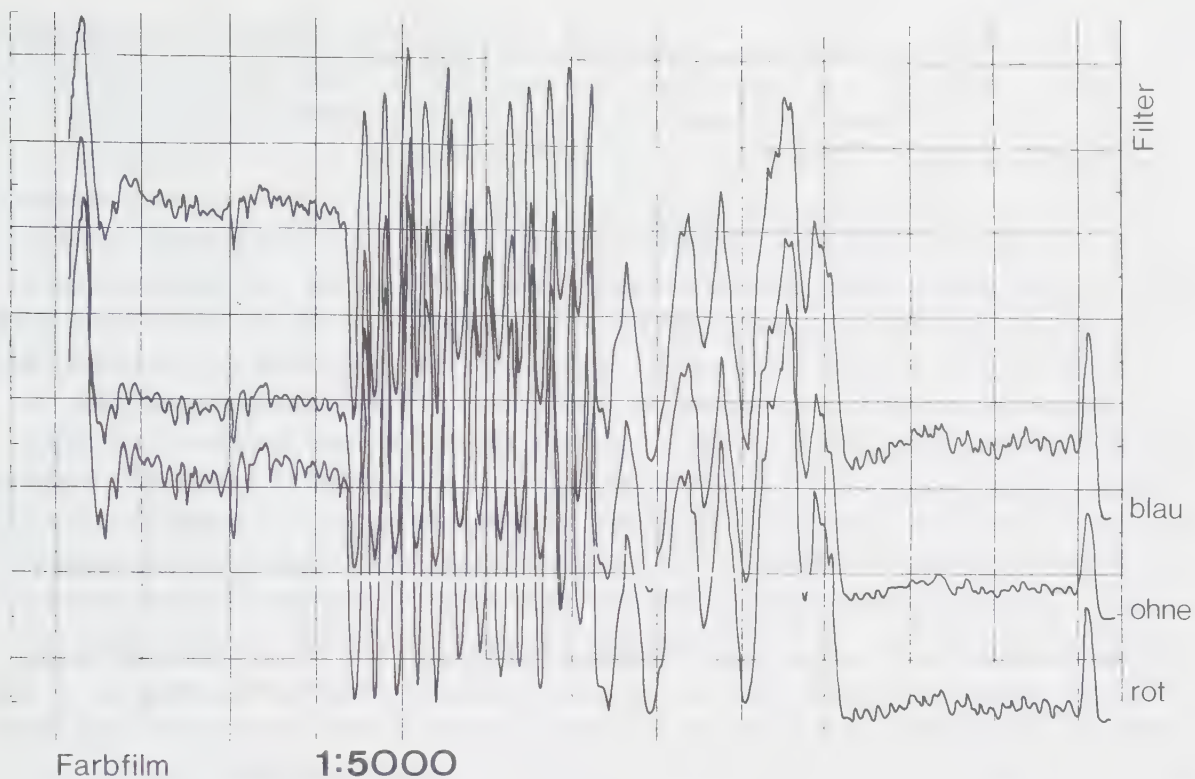


Fig. 62 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Filtern (Rot,Blau) im Massstab 1 : 5'000 des gleichen Messprofils

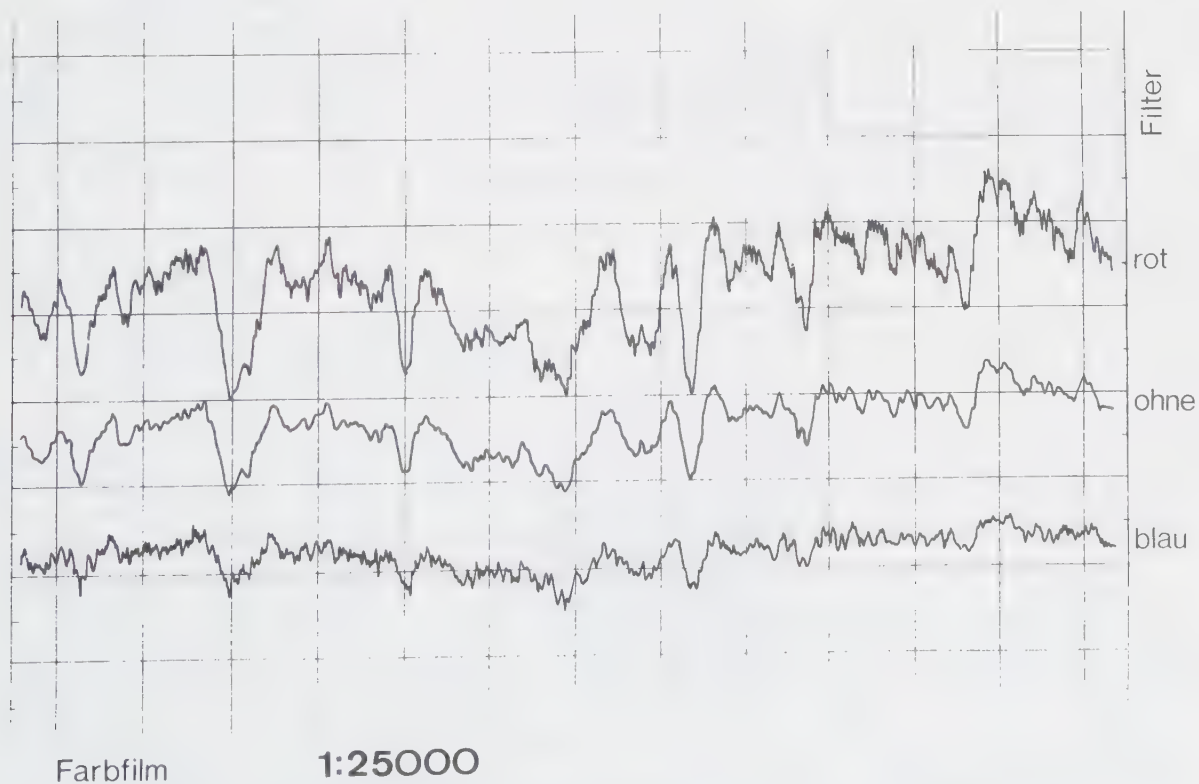
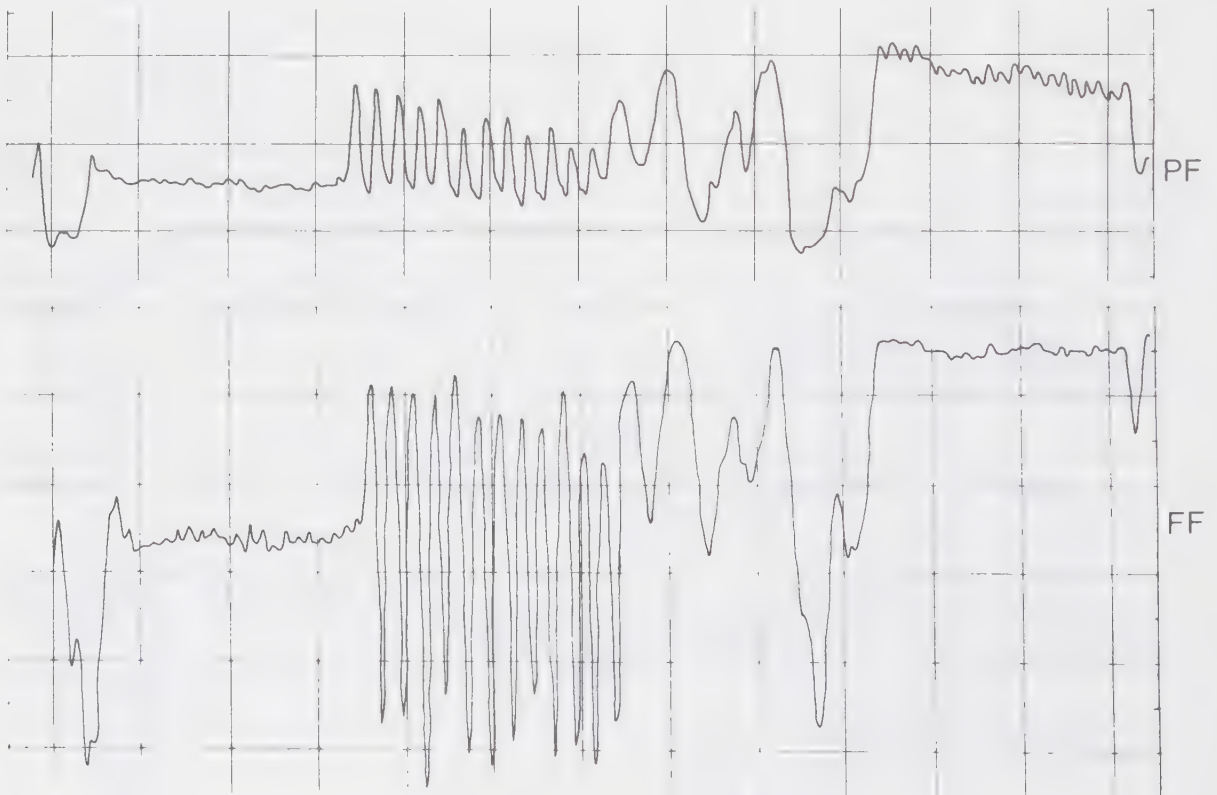


Fig. 63 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Filtern (Rot,Blau) im Massstab 1 : 25'000 des gleichen Messprofils

Eine weitere Voruntersuchung galt der Verwendung von Filtern. Es standen Rot- und Blaufilter zur Verfügung, die in den Strahlengang eingeschaltet werden können. Da die Filter jedoch nicht denjenigen, die bei den Densitometermessungen verwendet wurden, (Kapitel 7.1) entsprachen, dürfen die Ergebnisse nicht einfach miteinander verglichen werden.

In Fig. 62 und 63 sind dieselben Messkurven für den Farbfilm mit einem Rot- und mit einem Blaufilter und ohne Vorschaltung eines Filters aufgetragen. Die Kurve selbst ändert ihr Aussehen nur unwesentlich. Einzig die mittlere Dichte verschiebt sich. Die effektive Verschiebung ist allerdings kleiner als in den beiden Darstellungen, da die Abstände der Kurven aus Gründen der Uebersichtlichkeit vertikal etwas auseinandergezogen wurden. Allerdings kann eine unterschiedliche Verschiebung zwischen der Aufnahme im Massstab 1 : 5'000 und jener im Massstab 1 : 25'000 festgestellt werden. Im Massstab 1 : 5'000 weist die Kurve, die durch Vorschalten des Rotfilters entstanden ist, die geringere Dichte auf als jene, die die Messung mit dem Blaufilter repräsentiert. Im Massstab 1 : 25'000 sind die Ergebnisse gerade umgekehrt. Die stärkere Aufhellung im Blaubereich manifestiert sich also auch bei den Mikrodensitometermessungen. Im Massstab 1 : 25'000 zeigt die Kurve mit Rotfilter einen deutlich besseren Detaillierungsgrad. Bei kleineren Massstäben ( $< \text{ca } 1 : 12'000$ ) empfiehlt sich daher die Verwendung eines Rotfilters.

Am Schluss verglichen wir noch einen Streifen aus dem Untersuchungsgebiet, gemessen auf dem Farbfilm, mit dem gleichen Ausschnitt auf dem panchromatischen Schwarzweiss-Film. Bei der Darstellung musste die Kurve aus den Schwarzweiss-Film-Messungen umgekehrt werden, da hier auf einem Negativ und nicht wie beim Farbfilm auf einem transparenten Positiv gearbeitet wurde (Fig. 64).



**Fig. 64** Mikrodensitometer-Aufzeichnungen des gleichen Messprofils auf FF und PF. Messung beim FF auf Transparent-Positiv, beim PF auf Transparent-Negativ (zum Vergleich wurde die Kurve beim PF "umgekehrt" damit die Ausschläge in die gleiche Richtung weisen wie beim FF)

Spaltöffnung und Uebersetzung wurden jedoch beibehalten. Der einzige markante Unterschied im ausgewählten Beispiel beruht auf der Amplitude, die beim Farbfilm viel grösser ist. Für eine praktische Anwendung der Mikrodensitometermethode müsste also geprüft werden, ob bereits der Schwarzweiss-Film eine den Anforderungen gerechte Trennung ergibt, eventuell kombiniert mit den Densitometermessungen oder der Stereohöhe, oder ob doch der Farbfilm, wie schon die Erfolgsraten aus den Densitometermessungen zeigen, bessere Ergebnisse liefert.

Zur Ermittlung der in 10.3 aufgezeigten Resultate der Mikrodensitometermessungen für verschiedene Kulturen wählten wir jene Felder aus, die möglichst wenig Nebeneinflüssen ausgesetzt waren. Grundsätzlich massen wir nur auf Feldern im Zentrum der Luftbilder, um so die randlichen Einflüsse möglichst klein zu halten. Bei den Baumkulturen, den Reben und Tomaten, die alle schon von blossen Auge erkennbar eine mehr oder weniger ausgeprägte Textur aufweisen, haben wir grundsätzlich immer quer, d.h. senkrecht zu den Baum- bzw. Stockreihen gemessen. Auf diese Weise ist es ausserdem möglich, Angaben über die Anbauart und somit über die für bestimmte Kulturen eventuell charakteristischen Abstände zu erhalten. Versuche haben gezeigt, dass eine Messung entlang einer Reihe zu grossen Schwankungen unterworfen ist.

Zum Schluss sei noch auf die Mess-Geschwindigkeit hingewiesen. Im Gegensatz zum Densitometer können ganze Profile verschiedener Felder rasch abgetastet und Dichteschwankungen aufgezeichnet werden. Dagegen ist der Zeitaufwand zur Einpassung der Luftbilder auf dem Mess-tisch, zur Auswechslung der Registrierpapiere und für die nachfolgende Auswertung der Kurven relativ gross.

### 10.3 Quantitative Interpretationsmöglichkeiten

Da das Schwergewicht der Untersuchungen auf die systematische Abklärung aller die Mikrodensitometermessungen beeinflussenden Faktoren gelegt wurde und das Messgerät nur in beschränktem Umfang zur Verfügung stand, konnten nicht genügend Resultate gesammelt werden, die eine statistische Bearbeitung erlauben würden. Wohl wurden von allen 8 Kulturen eine ganze Reihe von Feldern unter gleichen Bedingungen untersucht, doch sind die nachfolgenden Resultate nicht wie bei den in Kapitel 7.8 und 9 beschriebenen Methoden statistisch gefestigt.

Die Aufzeichnungen haben durchwegs den Charakter einer Sinuskurve, die durch folgende Eigenschaften bestimmt werden kann:

- die Amplitude, bzw. die maximalen und minimalen Ausschläge
- die Wellenlänge, bzw. die Frequenz und
- den Mittelwert

Der Mittelwert gibt den durchschnittlichen Helligkeits- bzw. Dunkelheitsgrad eines Feldes wieder. Er entspricht also ungefähr den in Kapitel 7 beschriebenen Densitometermessungen.

Die Frequenz gibt bei den Baumkulturen, Reben und Tomaten deutlich die Anbauabstände der einzelnen Kulturen wieder. Sie ist ein erstes Mass für den Feinheitsgrad der Textur.

Die Amplitude endlich gibt die Kontrastunterschiede innerhalb einer Parzelle wieder. Bei den in Reihen angepflanzten Baumkulturen haben wir zudem die Möglichkeit, durch Erfassen der Maxima, Dichtewerte für die Baumkronen zu erhalten, unabhängig vom Untergrund, der durch die Minima wiedergegeben wird. Gerade hier ist es empfehlenswert, nur im zentralen Bildteil zu arbeiten, da am Rand infolge des Zusammenspiels von zentralperspektivischer Abbildung und Schlagschatten unterschiedliche Helligkeiten auftreten (s.S. 29).



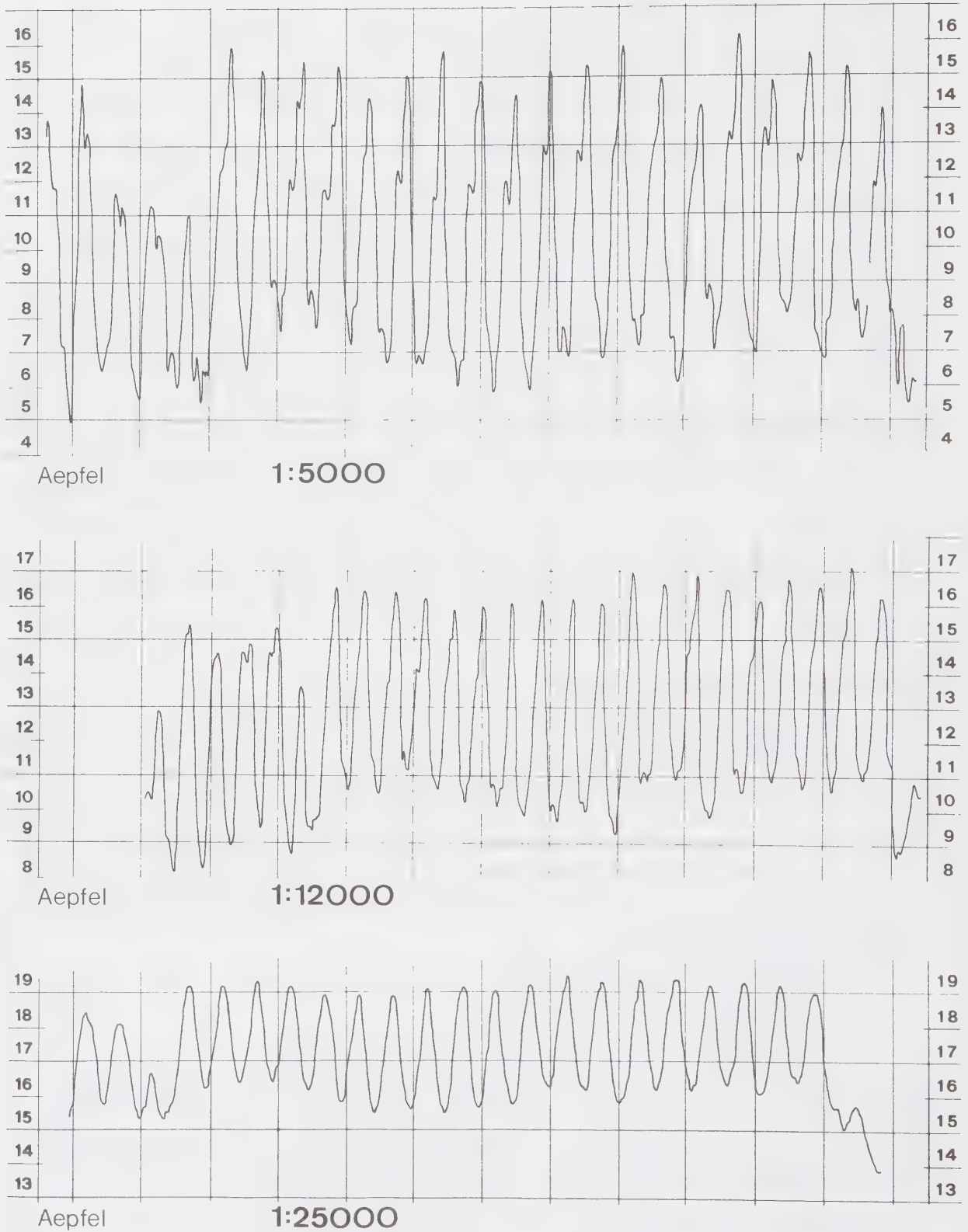


Fig. 65 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Apfelbaumfeldes

Um eine bessere Grundlage zum Vergleich der einzelnen Kulturen untereinander und in verschiedenen Massstäben zu erlangen, haben wir am Rand der Darstellungen eine von der Dichte abhängige Klasseneinteilung angebracht. Niedere Zahlen entsprechen dabei einer geringen Dichte, grosse Zahlen einer hohen Dichte.

Die Fig. 65 bis 72 stellen Messresultate für alle 8 untersuchten Kulturen in den 3 Massstäben dar.



Fig. 65 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Apfelbaumfeldes

Auf den ersten Blick finden wir in diesen Beispielen relativ einfache Sinuskurven. Die mittlere Dichte verschiebt sich von der Klasse 11 im Massstab 1 : 5'000 zur Klasse 18 im Massstab 1 : 25'000. Der maximale Ausschlag ist ziemlich konstant und variiert nur in 2 Klassen. Die Amplitude ist keinen grossen Schwankungen unterworfen. Sie umfasst im Massstab 1 : 5'000 10 Dichteklassen, im Massstab 1 : 25'000 noch 4. Die Regelmässigkeit der Kurven ergibt sich aus dem Spalieranbau dieser Kultur. Auf 10 cm horizontaler Ausdehnung der Kurve entfallen im Massstab 1 : 5'000 ca 10 Schwingungen. Der Abstand zwischen den Baumreihen beträgt dabei durchschnittlich 1,0 cm. Dank geeigneten, den Massstäben proportionalen Uebersetzungen, verändern sich Schwingungszahl und Wellenlänge in den übrigen Massstäben nicht wesentlich.

Fig. 66 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Birnbaumfeldes

Im Massstab 1 : 5'000 liegt die mittlere Dichte in der Klasse 10 und nimmt ebenfalls mit kleiner werdendem Massstab zu. Die Amplitude ist im Massstab 1 : 5'000 mit 13 Klassen etwas ausgeprägter als bei den Äpfeln, verbunden zum Teil mit den grösseren Schwankungen in den Maxima. Der Spalieranbau tritt auch bei den Birnen noch deutlich in Erscheinung. Die Anzahl der Schwingungen für 10 cm Horizontaldistanz in der Aufzeichnung beläuft sich auf ca 15 im grössten Massstab.

Fig. 67 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Aprikosenfeldes

Im Gegensatz zu den vorgängig besprochenen Kulturen ist das Bild der Aufzeichnungen sehr unruhig. Die bislang schöne, regelmässige sinusförmige Kurve weist hier eine Reihe von kleineren und grösseren Unregelmässigkeiten auf. Die Amplitude ist teils sehr gross (12 Klassen), teils eher gering (3 Klassen). Ebenso variieren die maximalen Ausschläge zwischen der Klasse 13 und 19. In den kleineren Massstäben wird der unregelmässige Verlauf der Kurve etwas gedämpft, doch verliert die Kurve gleichzeitig an Aussagekraft. Der eigenartige Verlauf der Kurve ist bei den Aprikosen hauptsächlich auf den Aufnahmeort und auf die Anbauart zurückzuführen. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Aprikosenbäume wachsen nämlich fast ausschliesslich am linken, relativ steilen Talhang (s.S.16). Ausserdem werden sie im Gegensatz zu den Äpfeln und Birnen nicht an Spalieren, sondern als einzelstehende Bäume in grossen Hainen angebaut.

Fig. 68 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Rebefeldes

Der augenfälligste Unterschied zu den bereits besprochenen Kulturen bildet hier der geringe Abstand der einzelnen Schwankungen in den Massstäben 1 : 5'000 und 1 : 12'000. Die mittlere Dichte fällt beim grössten Massstab in die Klasse 8 und ist gegenüber den Baumkulturen deutlich niedriger. Noch besser zeigt sich der Unterschied in den maximalen Ausschlägen, die trotz Schwankungen unter denen der Äpfel, Birnen und Aprikosen liegen. Die Amplitude fällt mit kleiner werdendem Massstab von 11 auf 2 Dichteklassen hinunter. Der Abstand beträgt noch ca 0,3 cm, die Zahl der Schwingungen für eine horizontale Wegstrecke von 10 cm erhöht sich auf 35.

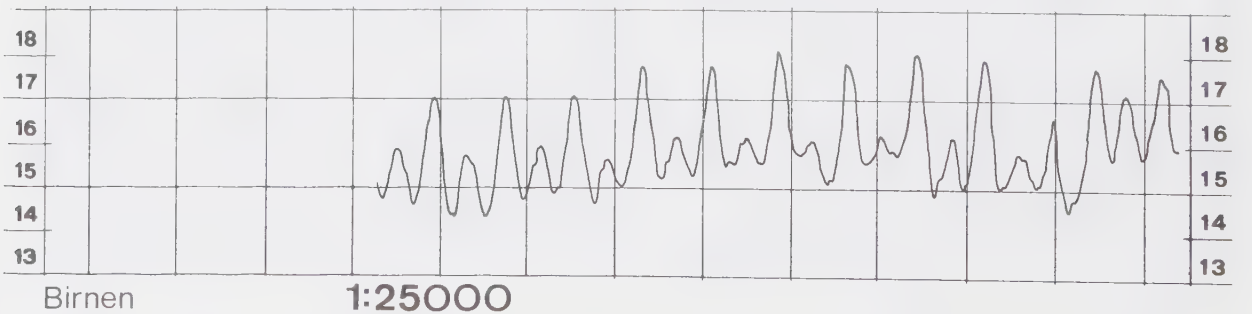
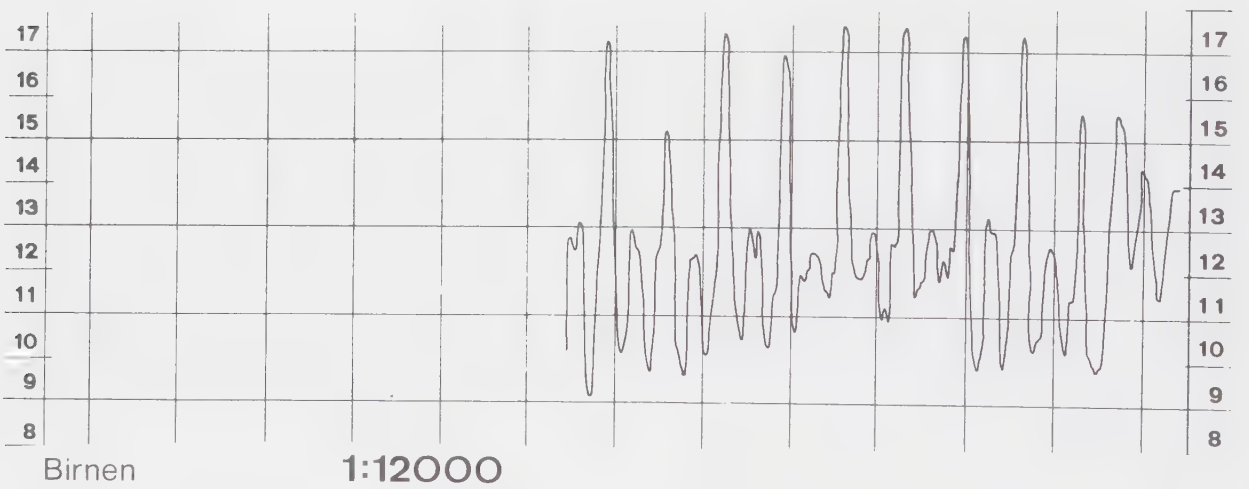
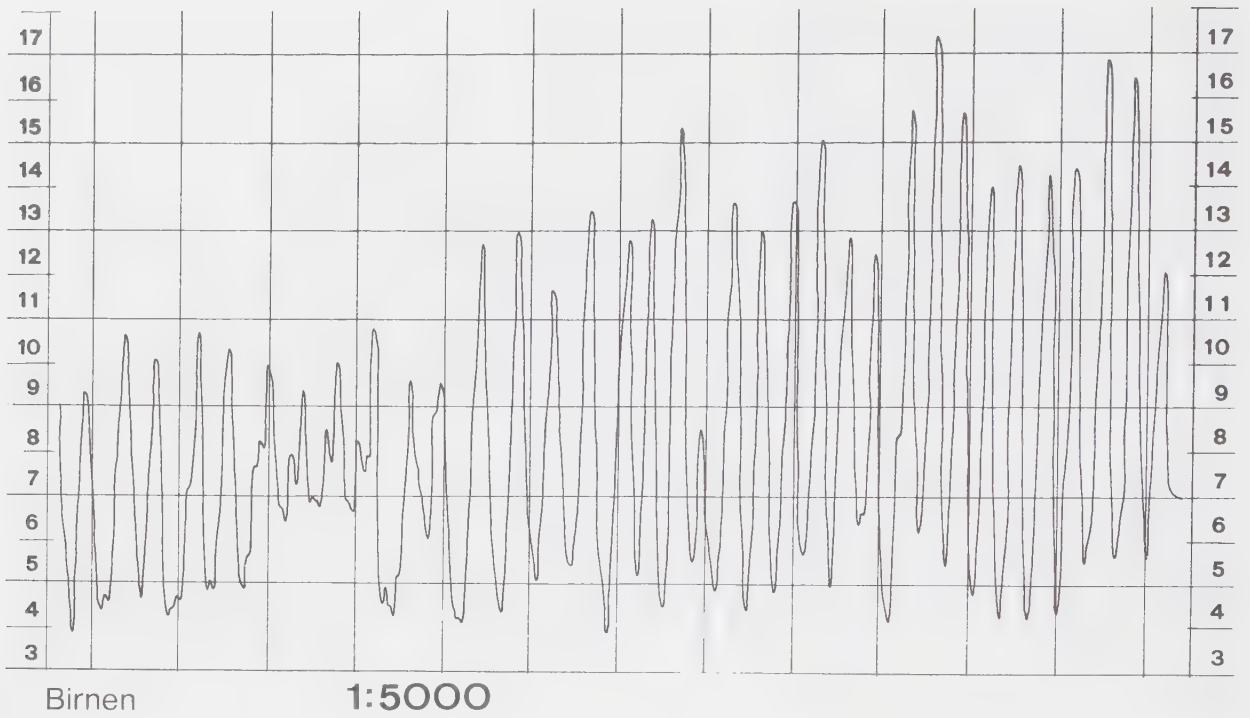


Fig. 66 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Birnbaumfeldes

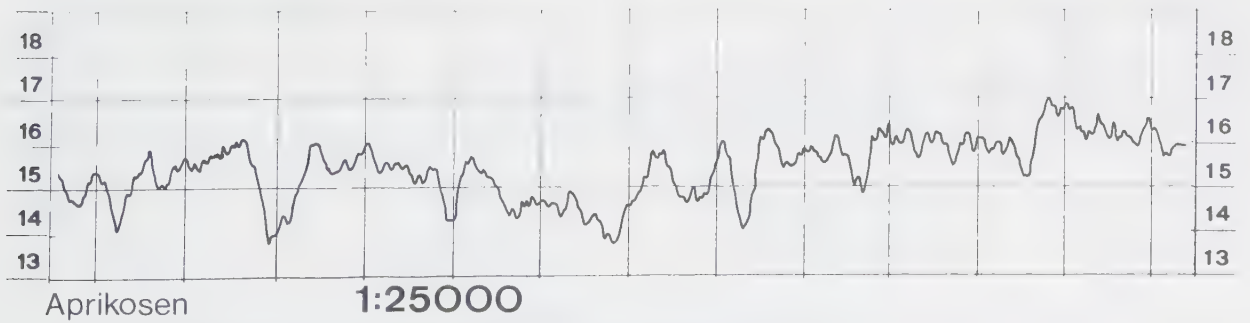
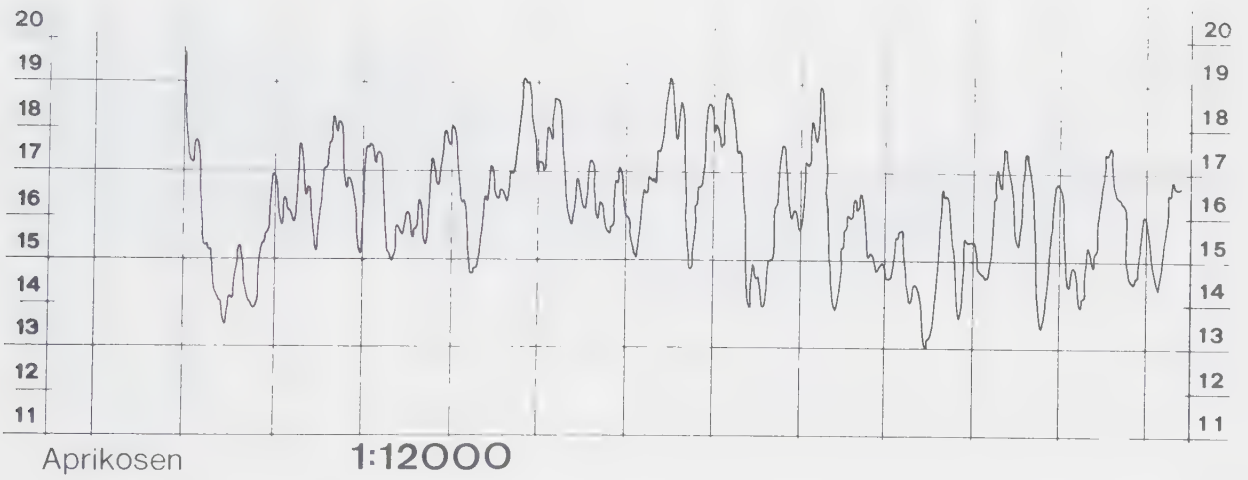
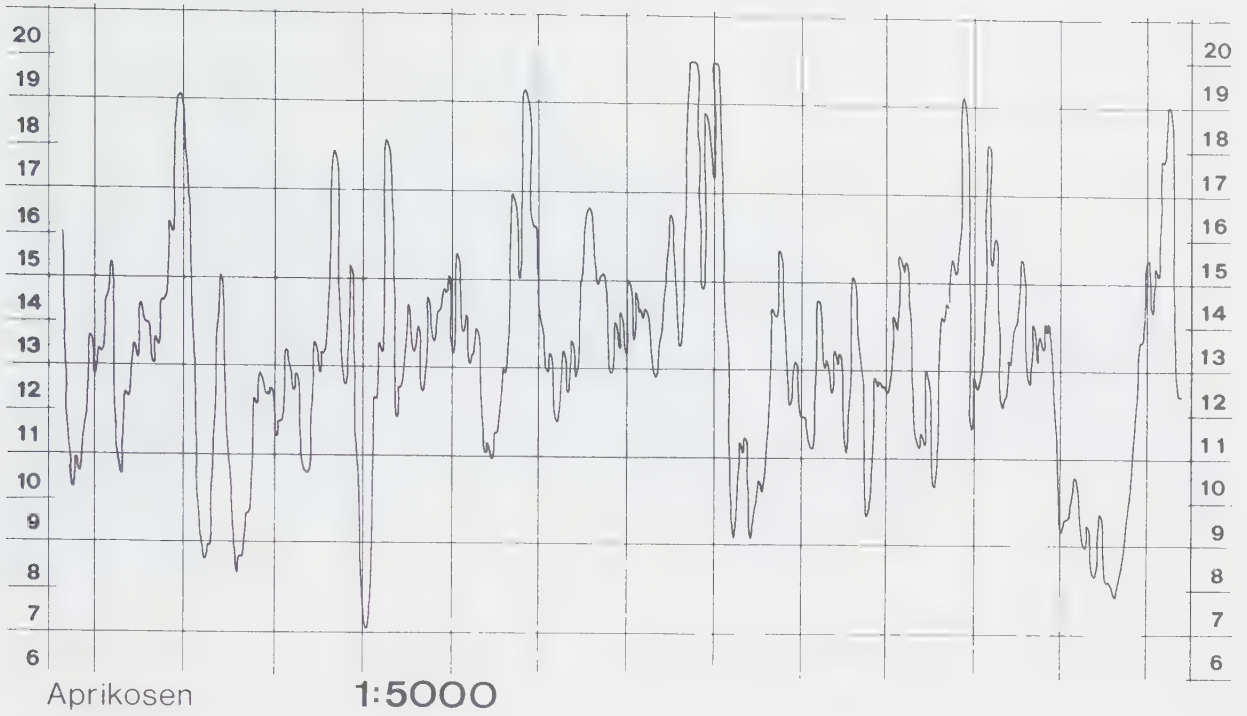
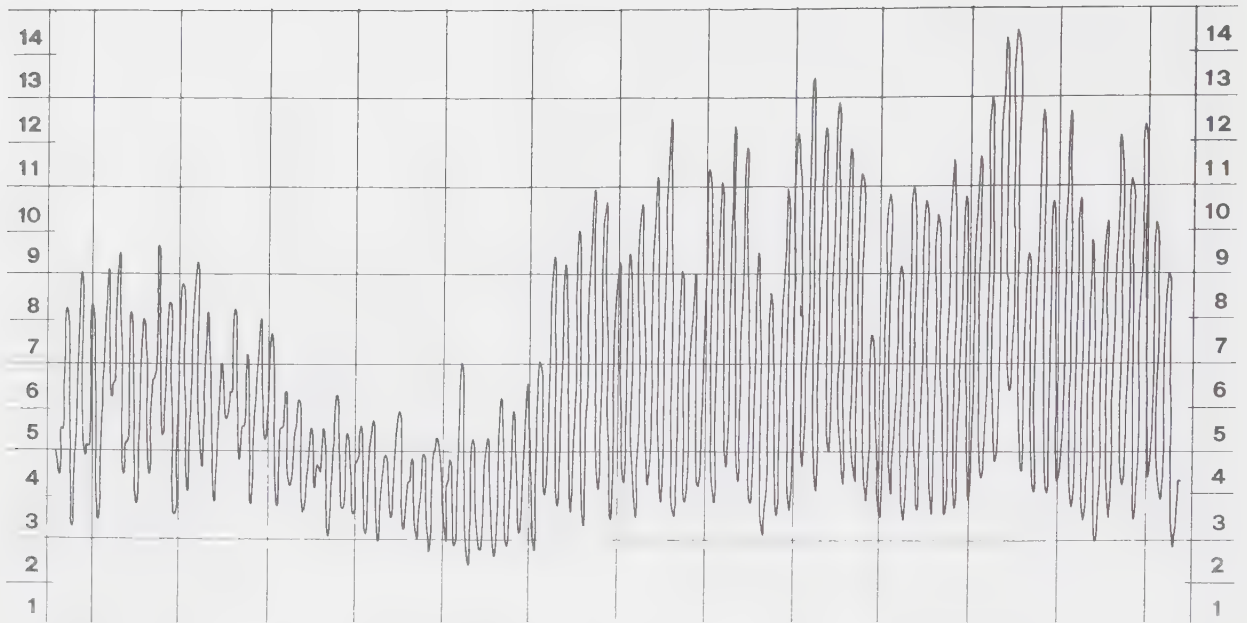
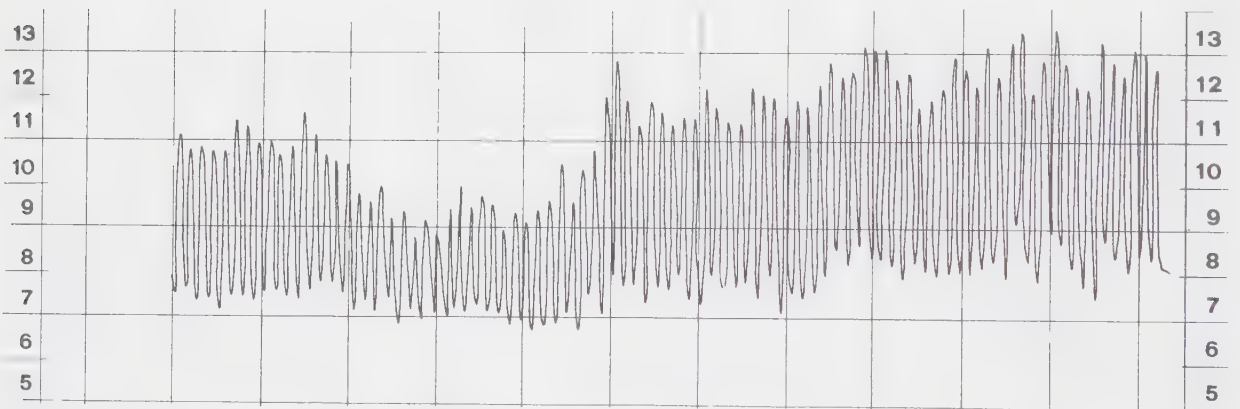


Fig. 67 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Aprikosenfeldes



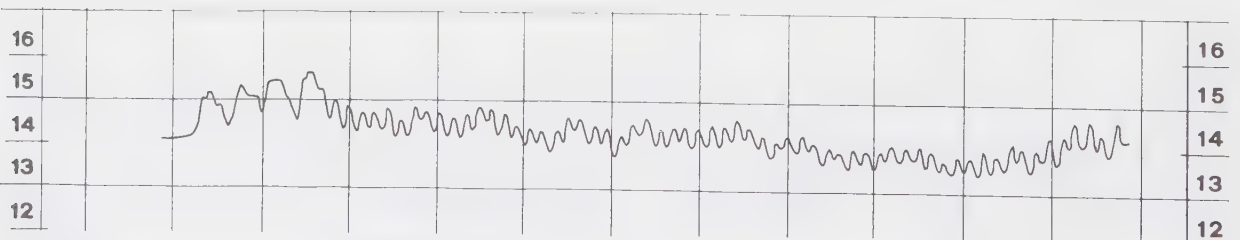
Reben

1:5000



Reben

1:12000



Reben

1:25000

Fig. 68 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Rebenfeldes



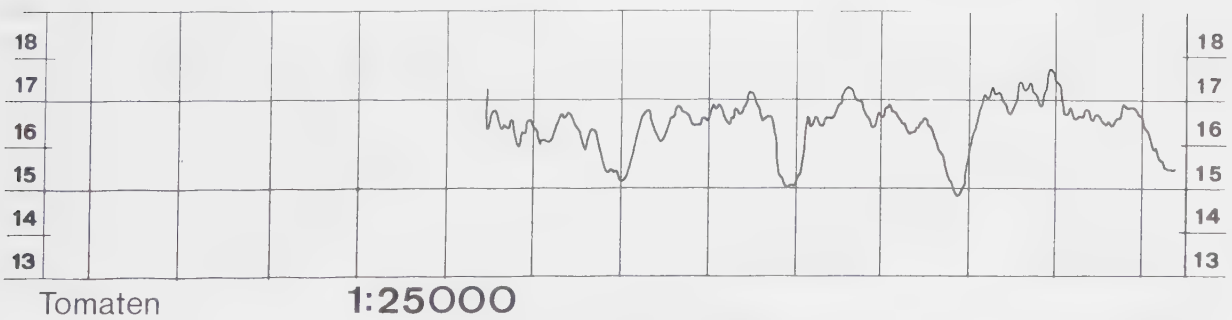
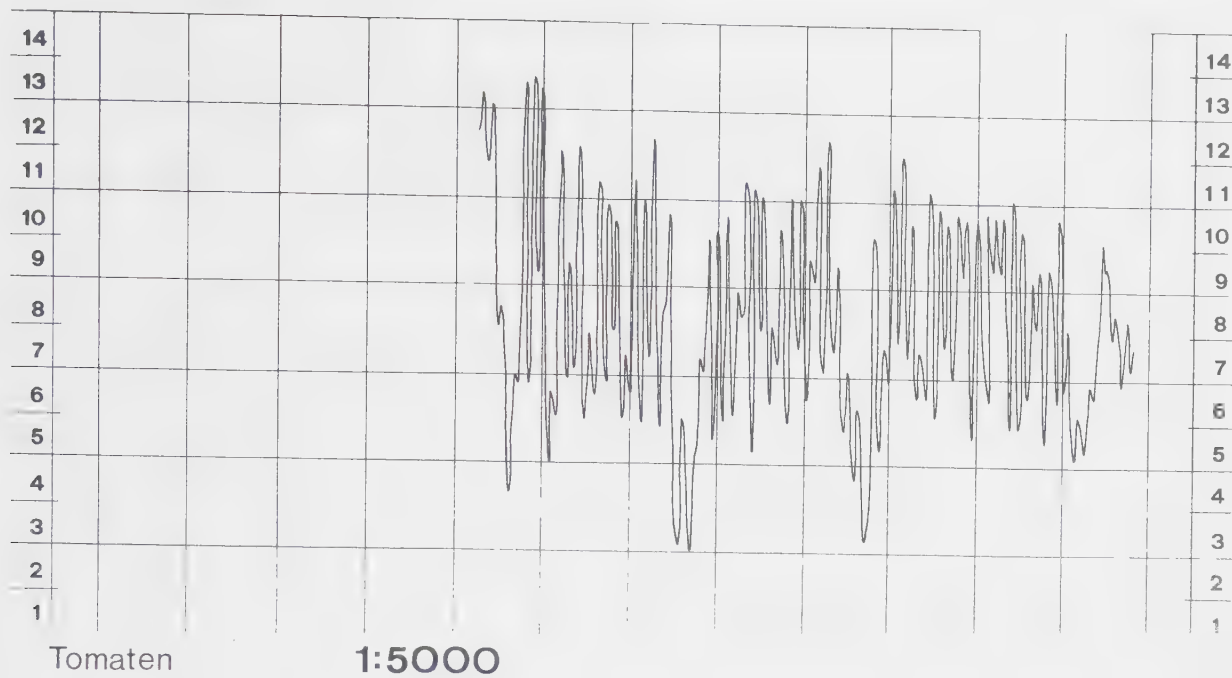


Fig. 69 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Tomatenfeldes

Fig. 69 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Tomatenfeldes

Abgesehen vom unruhigeren Bild, bedingt durch die grösseren Schwankungen der Maxima und der kleineren Amplitude im Massstab 1:5'000, unterscheiden sich diese Aufzeichnungen kaum von denen der Reben. Bei beiden Kulturen kommt in den Massstäben 1:5'000 und 1:12'000 der geringe Abstand zwischen den in Reihen angepflanzten Reb- bzw. Tomatenstöcken deutlich zum Ausdruck, während diese Information im Massstab 1:25'000 verloren geht.

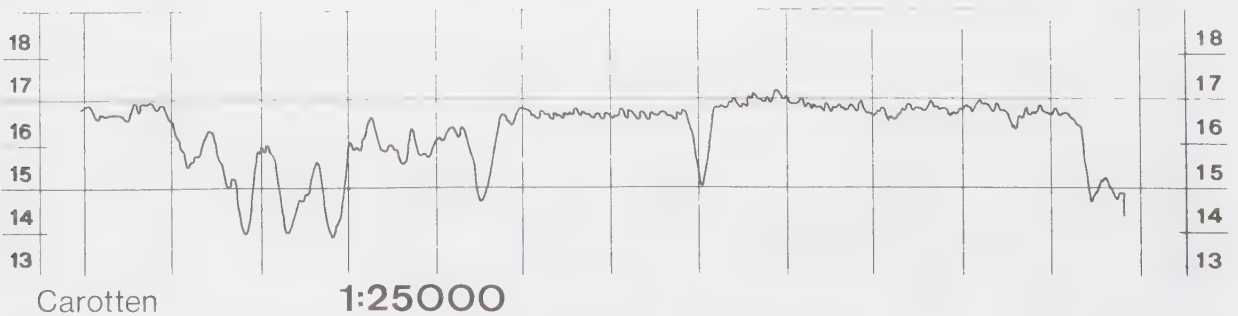
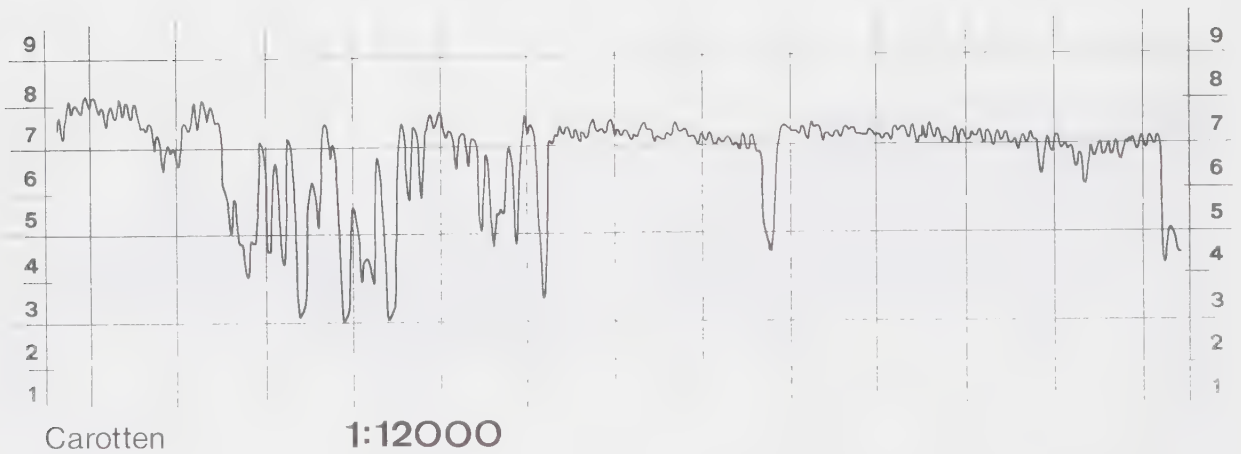
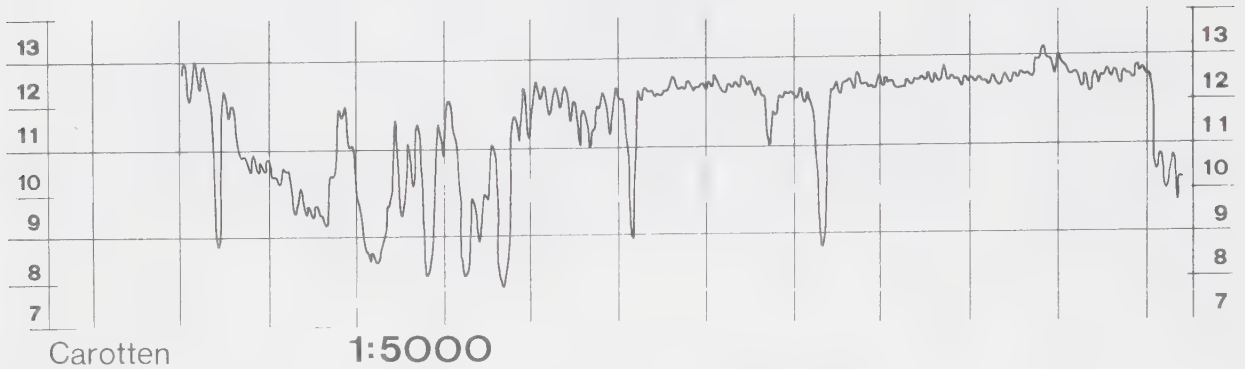


Fig. 70 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Carottenfeldes

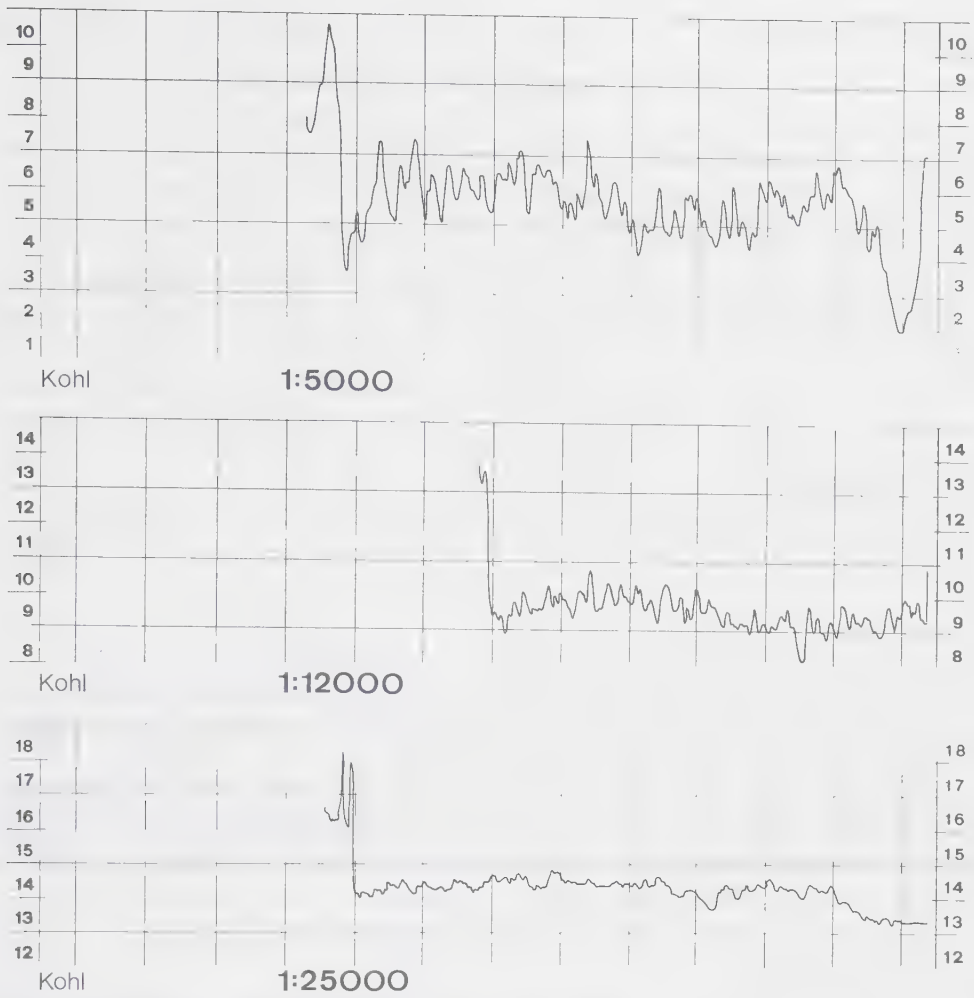


Fig. 71 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Kohlfeldes

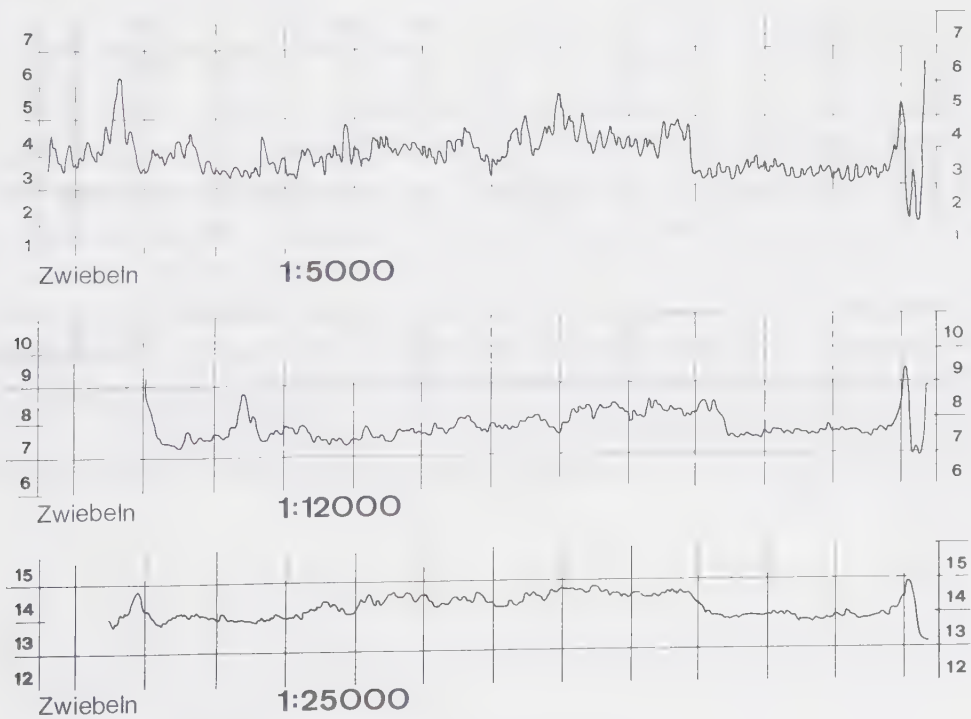


Fig. 72 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Zwiebelfeldes

Fig. 70, 71, 72 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen je eines Carotten-, Kohl- und Zwiebelfeldes

Die beste Differenzierung ergibt die mittlere Dichte. Im Massstab 1 : 5'000 liegt sie, bei den Carotten, in der Klasse 12, beim Kohl in der Klasse 6 und bei den Zwiebeln in der Klasse 4. Dieser markante Unterschied geht im Massstab 1 : 25'000 für die Unterscheidung von Kohl und Zwiebeln verloren. Nur die Carotten weisen noch eine etwas höhere mittlere Dichte auf. Da die Amplitude bei allen drei Kulturen sehr klein ist und nur eine, höchstens zwei Dichteklassen umfasst, ergeben auch die maximalen Ausschläge keine bessere Differenzierung. Die Anzahl der einzelnen Schwingungen, die einen Abstand von nur noch 0,1 - 0,3 cm aufweisen, ist auf eine Horizontaldistanz von 10 cm noch grösser als bei den Reben und schwankt zwischen 40 und 50. Die kleine Amplitude weist auf die sehr dichte Bepflanzung dieser Gemüsefelder hin. Die zwischendurch auftretenden starken Ausschläge zu kleinen Dichteklassen ergeben sich aus unbewachsenen Stellen.

Zusammenfassend können die Mikrodensitometer-Aufzeichnungen der Fig. 65 - 72 wie folgt analysiert werden :

a) Visuelle Interpretation

Die Aufzeichnungen ergeben rein visuell bereits gute Ansätze zur Differenzierung der einzelnen Kulturen. Die weiten Abstände der Ausschläge bei den Baumkulturen unterscheiden sich von den sehr eng beieinanderliegenden aber noch kräftigen Ausschlägen der Reben und Tomaten.

Im weiteren ermöglicht auch die Höhe des maximalen Ausschlages eine gute Abgrenzung zu erzielen. Sehr charakteristisch für einzelne Kulturen ist die Amplitude. Grosse Ausschläge bei Baumkulturen und mittlere Ausschläge bei Reben und Tomaten stehen den eher ausgeglichenen Kurven der übrigen untersuchten Gemüsesorten gegenüber.

b) Zahlenmässige Erfassung

Die nachfolgende Tabelle<sup>1</sup> gibt verschiedene Texturparameter für die 8 untersuchten Kulturen zahlenmässig wieder. Die Resultate sind allerdings nicht statistisch gefestigt, da pro Kultur nur wenige Messungen vorliegen. Die Werte beziehen sich bei der mittleren Dichte, bei den maximalen Ausschlägen und bei der Amplitude auf Dichteklassen. Die Anzahl der Schwingungen ist an einem 10 cm langen horizontalen Ausschnitt der Kurve gemessen worden. Der Abstand der einzelnen Ausschläge ist in Zentimetern wiedergegeben. Die letzten beiden Angaben sind bei sehr kleinen Schwankungen allerdings nicht genau festlegbar.

Der Massstab 1 : 5'000 ergibt nach dieser Tabelle die beste Differenzierung. Ein Kriterium genügt aber meistens nicht, um eindeutig alle Kulturen voneinander trennen zu können. Auf Grund der Maxima lassen sich nur Äpfel und Birnen sowie Reben und Tomaten voneinander unterscheiden. Verwendet man die Amplitude, so ist eine Trennung möglich mit Ausnahme der Birnen und Aprikosen und des Kleingemüses (Ca, Ko, Zw). Die Zahl der Ausschläge wiederum ergibt eine Gruppenbildung von Äpfeln, Birnen und Aprikosen; Reben und Tomaten sowie des Kleingemüses. Beim Massstab 1 : 12'000 ist noch fast die gleiche Erfolgsrate zu verzeichnen, während der Massstab 1 : 25'000 höchstens noch eine Abtrennung der Baumkulturen von den übrigen Kulturen ermöglicht.

---

<sup>1</sup> Tabelle auf Seite 105



| 1 : 5'000               | Ae    | Bi    | Ap    | Re    | To     | Ca      | Ko      | Zw     |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|
| mittlere Dichte         | 11    | 10    | 14    | 8     | 9      | 12      | 6       | 4      |
| Maxima                  | 14-15 | 13-17 | 16-20 | 9-14  | 9-13   | 12-13   | 5-7     | 3-5    |
| Amplitude               | 10    | 13    | 12    | 11    | 7      | 1       | 3       | 2      |
| Anzahl Schwingungen     | 10    | 15    | 13    | 35    | 37     | ca 41   | ca 32   | ca 48  |
| Abstände der Ausschläge | 1,0   | 0,65  | 1,1   | 0,3   | 0,25   | ca 0,2  | ca 0,4  | ca 0,2 |
| 1 : 12'000              | Ae    | Bi    | Ap    | Re    | To     | Ca      | Ko      | Zw     |
| mittlere Dichte         | 13    | 13    | 16    | 10    | 11     | 7       | 10      | 8      |
| Maxima                  | 16-17 | 15-17 | 16-18 | 11-13 | 11-13  | 7       | 9-10    | 7-8    |
| Amplitude               | 7     | 8     | 6     | 6     | 4      | 1       | 2       | 2      |
| Anzahl Schwingungen     | 11    | 14    | 12    | 40    | 41     | ca 45   | ca 27   | ca 25  |
| Abstände der Ausschläge | 0,9   | 1,3   | 0,9   | 0,25  | 0,2    | ca 0,15 | ca 0,3  | ca 0,2 |
| 1 : 25'000              | Ae    | Bi    | Ap    | Re    | To     | Ca      | Ko      | Zw     |
| mittlere Dichte         | 18    | 16    | 16    | 14    | 17     | 16      | 14      | 14     |
| Maxima                  | 19-20 | 17    | 15-16 | 13-14 | 16-17  | 16-17   | 14      | 14     |
| Amplitude               | 4     | 4     | 3     | 2     | 2      | 1       | 1       | 1      |
| Anzahl Schwingungen     | 10    | 8     | 13    | 32    | ca 23  | ca 35   | ca 22   | ca 21  |
| Abstände der Ausschläge | 1,0   | 1,5   | 1,0   | 0,3   | ca 0,3 | ca 0,2  | ca 0,25 | ca 0,3 |

Ae = Äpfel

Bi = Birnen

Ap = Aprikosen

Re = Reben

To = Tomaten

Ca = Carotten

Ko = Kohl

Zw = Zwiebeln

Die Fig. 73 bis 78 zeigen Messkurven für eine Reihe verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen. Die Dichteklassen am Rand der Aufzeichnungen sind gleich gebildet worden wie in den vorher besprochenen Figuren, nur die Basis ist etwas verschoben. Die Klassifizierungen können somit nicht direkt verglichen werden. Die relativen Veränderungen der Maxima, der Schwingungszahl und der Amplitude sind aber auch hier in allen sechs Beispielen deutlich zu erkennen. Die beste Differenzierung, d.h. die markantesten Unterschiede finden sich bei den Darstellungen im Massstab 1 : 5'000. Aber auch der Massstab 1 : 25'000 lässt, wenn auch viel undeutlicher, noch eine Differenzierung zu. Bildmassstäbe von 1 : 12'000 bis 1 : 20'000 sind demnach für den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Landnutzungstyp am wirtschaftlichsten.

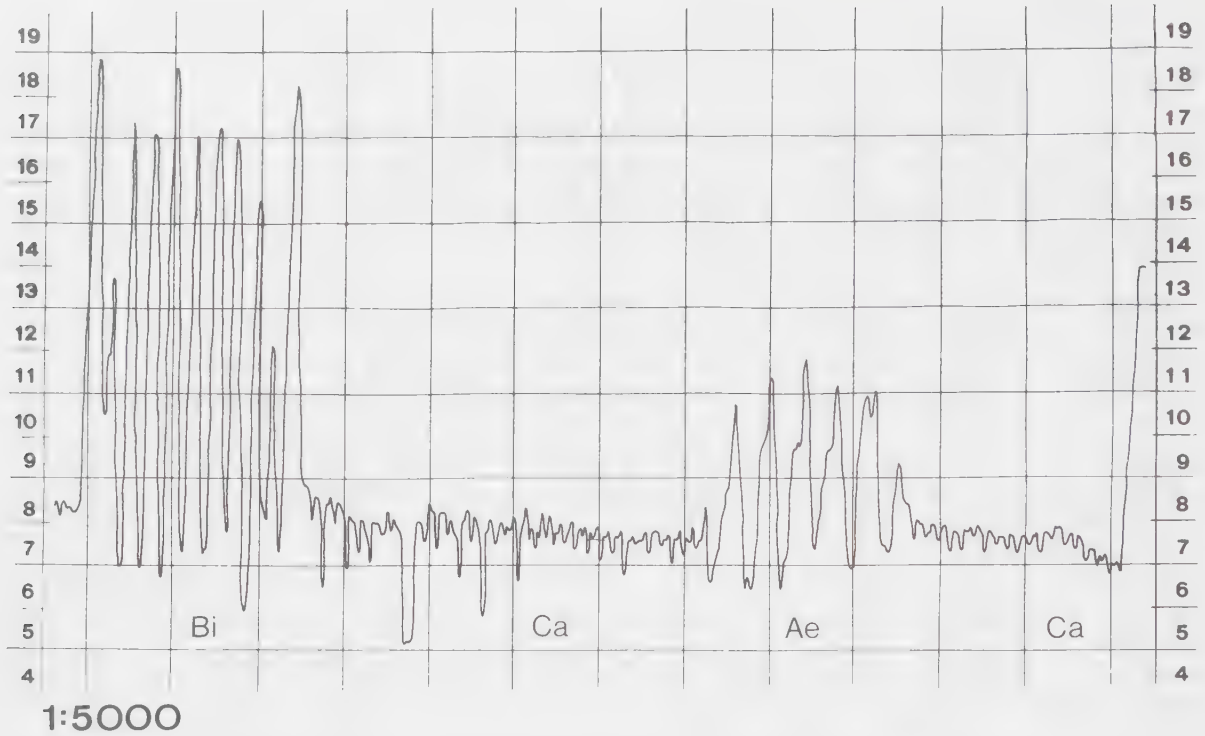


Fig. 73 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 5'000

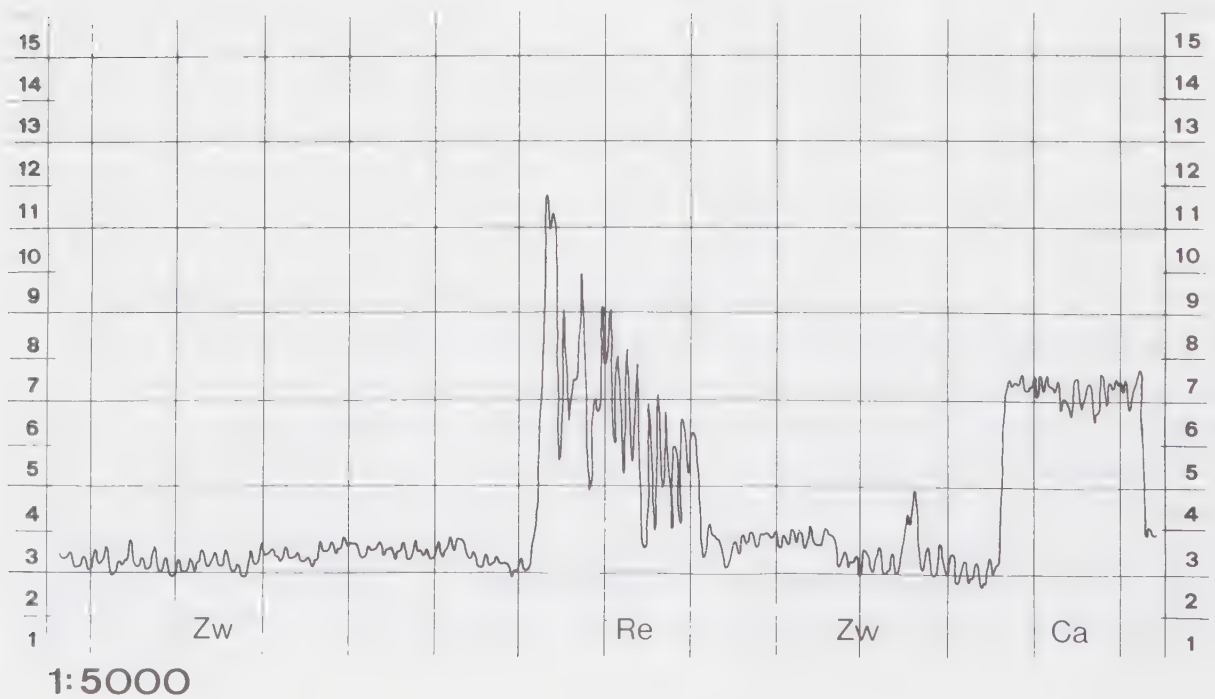


Fig. 74 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 5'000

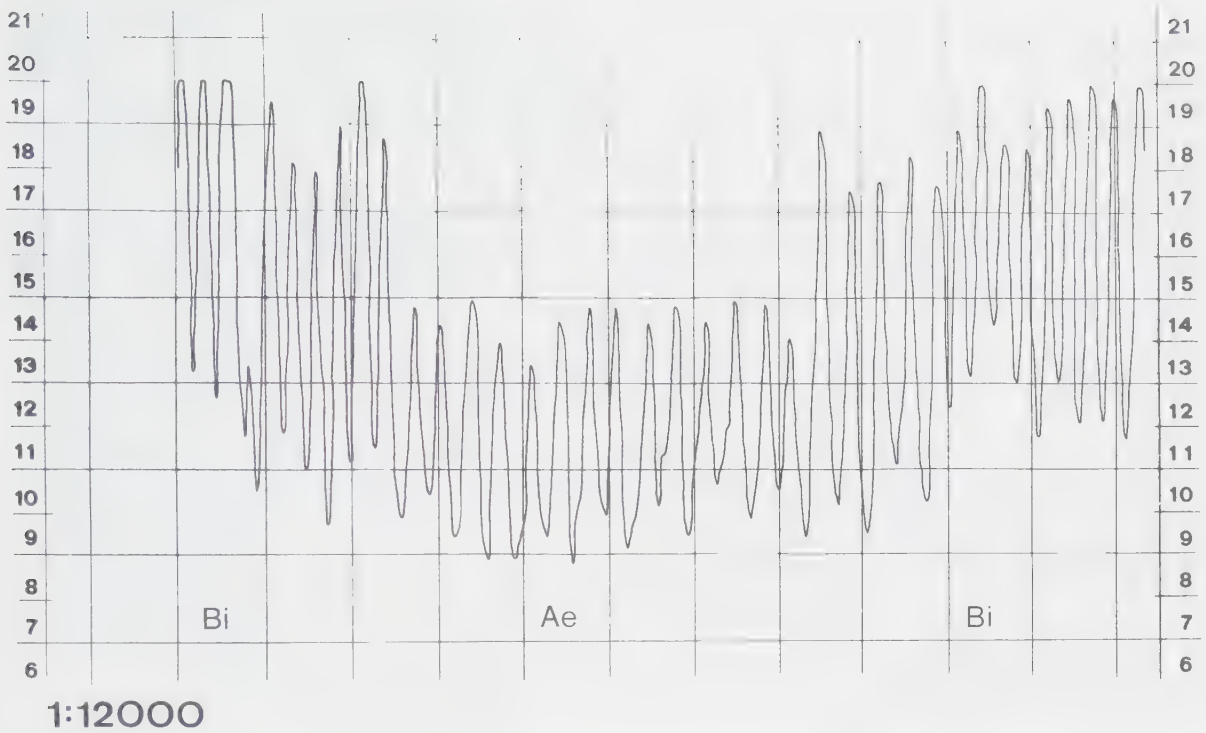


Fig. 75 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 12'000

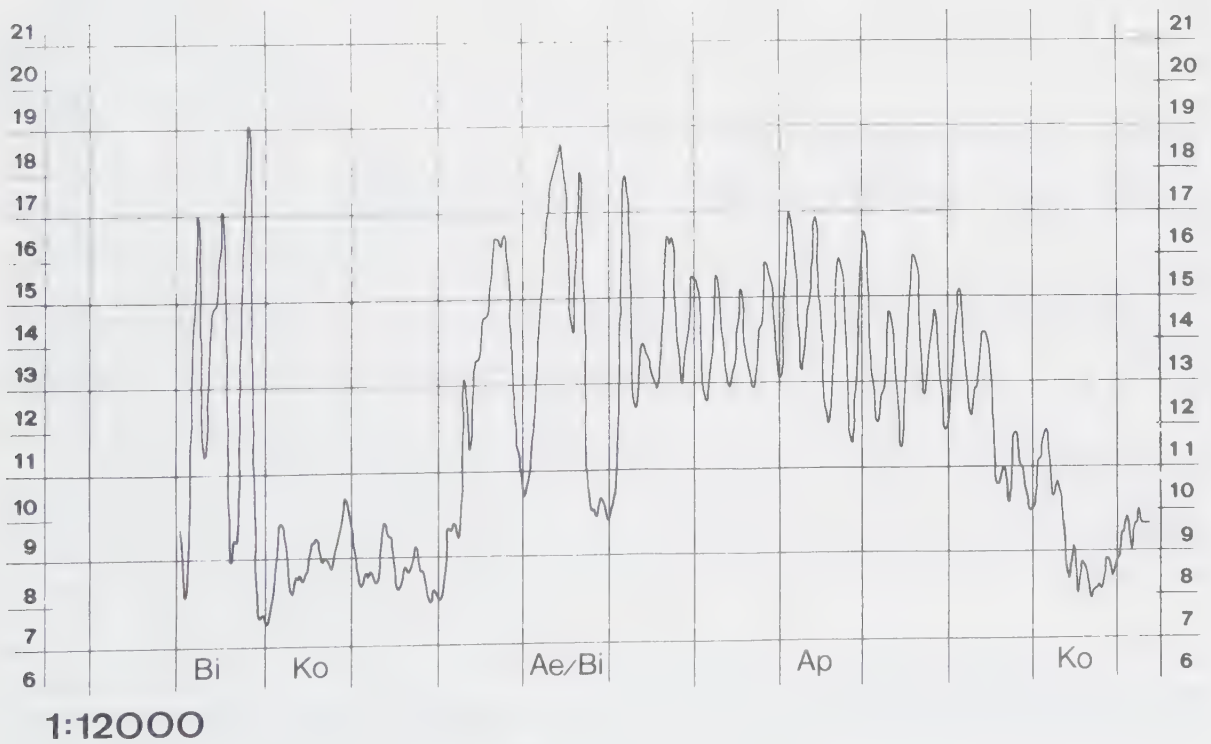


Fig. 76 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 12'000

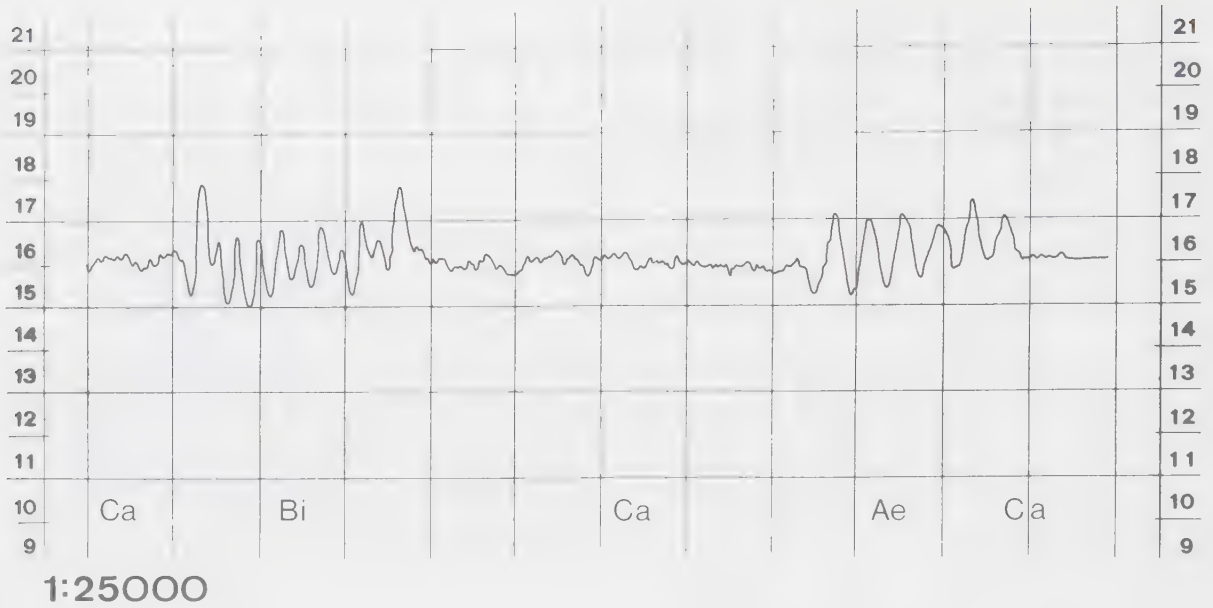


Fig. 77 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen  
im Massstab 1 : 25'000

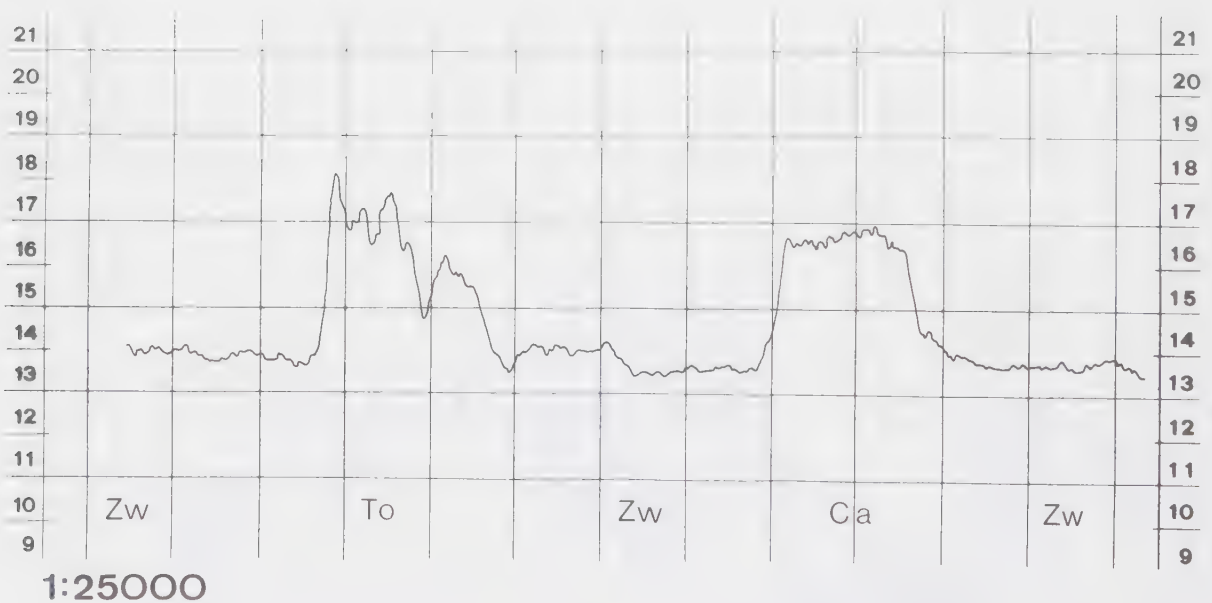


Fig. 78 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen  
im Massstab 1 : 25'000



### c) Numerische Datenerfassung

Die hier gezeigten Interpretationsmöglichkeiten weisen deutlich Ansätze zu einer besseren Differenzierung des untersuchten Landnutzungstyps auf. Eine quantitative Auswertung durch Vergleich einer grossen Zahl verschiedener Felder dürfte dies bestätigen. Der Arbeitsaufwand, der bei der visuellen Auszählung und Messung von Dichteveränderungen, Frequenzen usw. ziemlich umfangreich werden kann, lässt sich wesentlich vereinfachen und zudem objektivieren, wenn in einem, der Kultur, d.h. der Form der Kurve angepassten, sinnvollen zeitlichen Intervall, die Dichten zahlenmässig auf Lochstreifen oder Magnetbändern festgehalten und anschliessend direkt in einem Computer ausgewertet werden können.

Solche Apparaturen können heute direkt an den Mikrodensitometer angeschlossen werden. Dadurch fällt die visuelle, z.T. stark subjektive Beurteilung der Kurven weg.

Leider stand uns im Zeitpunkt unserer Untersuchungen ein solches Gerät nicht zur Verfügung. Versuche sind jedoch im Gange, ein entsprechendes Gerät kann demnächst in Betrieb genommen werden. Dann erst wird es möglich sein, an Hand umfassenden Zahlenmaterials die tatsächlichen Erfolgsraten, die mit Hilfe von Mikrodensitometermessungen, eventuell kombiniert mit Wuchshöhenmessungen oder anderen Parametern errechnet wurden, zu ermitteln.

### 11. Beste Jahreszeit für eine Landnutzungsinterpretation auf farbigen Luftbildern

Verschiedene Autoren haben sich wiederholt mit der Jahreszeit als Interpretationsfaktor befasst. So hat Steiner (1961) ausführlich über die Interpretationsaussichten auf Schwarzweiss-Filmen in Abhängigkeit von der Jahreszeit berichtet, wobei er sich auf die Landnutzungsform des östlichen Schweizerischen Mittellandes beschränkte. Er verwendete dazu ein phänologisches Standard-schema das markante Daten (Saat, Blüte, Aehrenschieben, Ernte) und die Veränderung der Wuchshöhen enthalten sollte, um die verschiedenen Versuchsergebnisse miteinander vergleichen zu können. Er kam zum Schluss, dass es praktisch nur eine Jahreszeit (Mitte Mai) gibt, in der im Schweizerischen Mittelland eine allgemeine Landnutzungsinterpretation auf Schwarzweiss-Luftbildern durchgeführt werden kann.

Baumberger (1969) führte im gleichen Gebiet Untersuchungen auf Farb-, Falschfarben- und Infrarot - Filmen durch. Er verglich Aufnahmen der beiden Monate Juni und Juli miteinander. Dabei erwies sich der Juli als günstigere Jahreszeit.

Für die vorliegende Arbeit war der Zeitpunkt der Befliegung nicht im voraus bestimmbar, so dass wir mit dem Mitte August aufgenommenen Luftbild-Material Vorlieb nehmen mussten und keine Schlüsse oder Vergleiche mit anderen Jahreszeiten ziehen konnten. Trotzdem sollen hier einige Aspekte der Obst- und Gartenbaulandschaft in Abhängigkeit von der Jahreszeit aufgezeigt werden. Eine detaillierte Untersuchung an obstbaulichen Kulturen, v.a. mit Spezialfilmen, dürfte aber erst brauchbare Resultate liefern.

Sayn - Wittgenstein (1961) hat über die beste Jahreszeit für forstwirtschaftliche Luftbild-aufnahmen berichtet, die z.T. auch auf die Fruchtbäume einer intensiven Agrarwirtschaft zutreffen dürften. Er weist darauf hin, dass bis anhin die meisten Aufnahmen im Sommer gemacht wurden. Die Witterungsverhältnisse sind im Sommer eher günstiger, aber auch der relativ steile Sonneneinfallswinkel wird mitunter eine Rolle spielen. Die verschiedenen Baumarten

sind dann alle gleichmässig belaubt. Ein Unterschied im früheren oder späteren Einsetzen des Reifeprozesses ist hier noch weitgehend ausgeglichen. Rein visuell erhalten wir einen mehr oder weniger gleichförmigen grünen Farbeindruck. Bei Waldaufnahmen ist der Unterschied zwischen den Laub- und Nadelhölzern im panchromatischen Film nur schwer sichtbar, in infraroten Emulsionen tritt ein deutlicher Unterschied infolge der ungleichen Remission im IR-Bereich auf.

Der Remissionswert eines pflanzlichen Objektes im sichtbaren Bereich ist sehr ausgeglichen (Backström und Welander für verschiedene Holzarten, 1953). Bei gesunden Pflanzen ist die Reflexion hellgrüner Blätter grösser als jene dunkelgrüner Blätter. Das Chlorophyll überdeckt im Sommer mengenmässig das ebenfalls in Blättern vorhandene Carotin. Das Chlorophyll absorbiert das Licht, v.a. im blauen und roten Spektralbereich, während im Grünbereich ein Rückstrahlungsmaxima entsteht. Je mehr Chlorophyll eine Pflanze hat, desto mehr Licht wird für die Photosynthese benötigt und desto geringer wird der Prozentsatz des reflektierten Lichtes.

Aleksew / Belov (1960) weisen darauf hin, dass die Remission, da ja nicht die einzelnen Blätter, sondern die ganze Krone betrachtet wird, von der Struktur der Krone abhängt (Blattstellung, Schatten, Aeste usw.). Auch spielt es eine Rolle, ob nur die Oberseiten oder z.T. auch die Unterseiten der Blätter abgebildet werden, die bisweilen erhebliche Reflexionsunterschiede ergeben.

Aufnahmen im Herbst liefern zweifellos infolge der Verfärbung des Laubes und des Laubfalls erheblich bessere Identifizierungsmerkmale. Doch sind die Unterschiede artspezifisch stark verschieden. Besser wären eventuell die Aussichten bei der Befliegung im Frühjahr. Sayn - Wittgenstein (1961) glaubt, dass für Laubbäume die beste Differenzierung unmittelbar nach der vollständigen Belaubung aller Bäume möglich wäre. Auch eine Unterscheidung auf Grund der Blütenfarbe könnte möglicherweise gute Resultate liefern. Wie im Herbst sind die Reflexionsverhältnisse wegen der pflanzlich verschiedenen Aufbau- bzw. Abbaugeschwindigkeit des Chlorophyllgehaltes viel differenzierter als im Hochsommer. Allerdings sind diese Jahreszeiten mit einigen Nachteilen vor allem was den genauen Zeitpunkt der Befliegung betrifft, behaftet. Je nach Lage, Temperaturverhältnissen, genetischen Differenzierungen, Alter und allenfalls Auftreten von Krankheiten innerhalb der Arten, kann die neu beginnende Vegetationszeit sehr verschieden einsetzen. Für kleine Gebiete könnten diese Faktoren noch mehr oder weniger berücksichtigt werden, in grossen Gebieten wird aber zwangsläufig eine starke Variation auftreten.

Der Winter oder die Zeit vor dem Austreiben der Bäume würde unter Umständen eine Interpretation nicht durch Tönungsunterschiede, sondern durch die Form der laublos dastehenden Bäume ermöglichen. In dieser Jahreszeit ändert sich zudem das Aussehen der Bäume nicht, was also einen weiten Spielraum für Aufnahmen ermöglichen würde. Die Struktur der Baumkronen liesse dann eventuell besser auf einzelne Arten schliessen. Schneebedeckter Boden würde zudem den Kontrast erhöhen und eine Auszählung womöglich erleichtern.

Auf Grund der Literatur, der eigenen Aufnahmen und der Kenntnis des Ablaufs des landwirtschaftlichen Jahres im Untersuchungsgebiet dürfen wir folgern, dass das vorliegende Bildmaterial nicht in einer für Interpretationszwecke optimalen Jahreszeit aufgenommen wurde. Die Resultate sind z.T. auch weniger gut als erwartet.

In einer gesonderten Untersuchung sollte deshalb abgeklärt werden, ob nicht speziell für diese Kulturarten (Obstbäume, Reben) Aufnahmen im Frühjahr zur Blütezeit oder gar im Winter bessere Ergebnisse liefern würden.

## 12. Zur Frage des günstigsten Bildmassstabes

Zur Verfügung standen aus drei verschiedenen Flughöhen aufgenommene Luftbild-Serien mit den Massstäben (für den Talboden berechnet) von durchschnittlich 1 : 5'000, 1 : 12'000 und 1 : 25'000. Damit konnte das Problem des kleinsten noch geeigneten Bildmassstabes, der für die Klassifikation der landwirtschaftlichen Kulturen noch brauchbare Resultate liefert, abgeklärt werden. Denn je kleiner der Massstab gehalten werden kann, desto wirtschaftlicher wird ein Bildflug zu stehen kommen.

Die Dichtemessungen mit dem Densitometer zeigen bei kleiner werdendem Massstab - der Messspalt wurde massstabsproportional angepasst - keine Verschlechterung der Ergebnisse. Durchschnittlich liegen die Werte im mittleren Massstab sogar ein wenig höher. Der Bildmassstab 1 : 25'000 fällt gegenüber dem grössten kaum ab. Eine Verbesserung der Resultate bei den Baumkulturen (allerdings nur um ca 10%) konnte hingegen beim grössten Massstab mit einem sehr engen Messspalt, ungefähr dem Durchmesser der Baumkronen entsprechend, und ausgewählter Messposition (nur über den Baumreihen) erzielt werden. Für Densitometermessungen genügt also ein Massstab von 1 : 12'000 - 20'000.

Eine wesentliche Steigerung der Trennungsgenauigkeit kann durch zusätzliche Berücksichtigung der Wuchshöhe erlangt werden. Die einfache Gliederung der Kulturen in drei Höhenklassen kann bei den Massstäben 1 : 5'000 und 1 : 12'000 mit gleich gutem Erfolg angewandt werden. Bei kleineren Massstäben wird der räumliche Eindruck allmählich verwischt. Beim Massstab 1 : 25'000 lässt sich nur noch über Stereoeffekt mit "Ja" oder "Nein" entscheiden, was eine beträchtliche Genauigkeitseinbusse nach sich zieht. Für eine stereoskopische Betrachtung von Kulturen von 1 - 5 m Wuchshöhe sollte der Massstab nicht kleiner als 1 : 15'000 bis 1 : 20'000 sein.

Ähnlich gute Ergebnisse zeigen sich bei der Untersuchung der Textur mit dem Mikrodensitometer. Wohl verringert sich in den Messprofilen bei kleiner werdendem Massstab die Amplitude. Das charakteristische Kurvenbild bleibt aber weitgehend erhalten. Der mittlere Massstab 1 : 12'000 beinhaltet gegenüber dem Massstab 1 : 5'000 keinen Informationsverlust. Beim Massstab 1 : 25'000 zeigen sich allerdings erste Ansätze zu einer Verschlechterung der Resultate. Für eine einwandfreie Beurteilung von Mikrodensitometer-Messprofilen darf der Massstab nicht unter 1 : 20'000 liegen.

Zusammenfassend darf daher gesagt werden, dass ein Massstab von 1 : 15'000 - 20'000 für die gestellte Aufgabe als optimal, d.h. wirtschaftlich am geeignetsten zu bezeichnen ist.

## 13. Zusammenfassung

In dieser Arbeit haben wir versucht, aus einem Mosaik unzähliger Felder die 8 verschiedenen Haupt-Kulturen der Obst- und Gartenbaulandschaft im Unterwallis auf dem Schwarzweiss- und Farbluftbild zu identifizieren. Die Interpretierbarkeit der landwirtschaftlichen Kulturen wurde durch quantitative Erfassung der Helligkeit (nach Farbbereichen getrennt), der Stereohöhe (Wuchshöhe) und der Textur geprüft. Dabei wandten wir absichtlich nur rein objektive Messmethoden (Densitometer, Stereomikrometer, Mikrodensitometer) an. Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse wurden die Messresultate im Computer verarbeitet.



Bei der Dichtemessung mit dem Densitometer zeigt der Farbfilm wesentlich bessere Resultate als der Schwarzweiss-Film, der mit dieser Methode allein kaum je eine befriedigende Separierung liefern kann. Beim Farbfilm lässt sich nicht nur ein Dichtewert pro Messstelle bestimmen, sondern mit Hilfe von Farbauszugsfiltern kann in den 3 Farbkomponenten "Rot" - "Grün" - "Blau" gemessen werden. Auch hier liefert nur die Verbindung aller 3 Einzelmessungen brauchbare Resultate. Eine Kombination Farbfilm / Schwarzweiss-Film brachte keine Verbesserung der Trennresultate und wäre ausserdem infolge des zusätzlichen Arbeits- und Kostenaufwandes unwirtschaftlich.

Fügt man zu den Dichtemessungen als weiteren Parameter die Wuchshöhe jeder Kultur hinzu, so kann die Separierung wesentlich verbessert werden (im Durchschnitt um 10 - 20% für das untersuchte Flugdatum).

Der Versuch, die Textur mit einem Mikrodensitometer quantitativ zu erfassen, ergab vielversprechende Ansätze. Jede Kultur zeigt hinsichtlich Amplitude und Frequenz ein charakteristisches Kurvenbild, das sich viel leichter identifizieren und definieren lässt als eine verbale Umschreibung der Textur. Vor allem die Baumkulturen lassen sich mit dieser Methode besser unterscheiden als mit den Densitometermessungen. Eine quantitative Auswertung einer grossen Zahl verschiedener Felder mit einem Mikrodensitometer, verbunden mit numerischer Datenregistrierung (was uns aus technischen Gründen nicht möglich war), dürfte dies bestätigen.

Damit lassen sich endlich spezielle Texturparameter definieren, die als weitere Parameter neben Densitometermessungen und Stereoeffekt in einer Diskriminanzanalyse mithelfen sollen, eine bestmögliche Trennung verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen herbeizuführen.

Entscheidend ist dabei die richtige Instrumenteneinstellung (optische Vergrösserung, Messspaltfläche, Uebersetzungsverhältnis, Vergleichsgraukeil), die wir in langen Testreihen ermittelt haben. Für einen Massstab von 1 : 12'000 empfiehlt sich eine Spaltbreite von  $25\mu$ , eine Spalthöhe von  $15\mu$ , ein Uebersetzungsverhältnis von 1 : 20, ein Vergleichsgraukeil von 2,1/0,109 d/cm und eine optische Vergrösserung von ca 14.

Die Jahreszeit spielt bei der Landnutzungsinterpretation eine nicht zu unterschätzende Rolle, da sich im Laufe des Jahres das Aussehen der Pflanzen stark verändert. Es stand uns nur ein Bildflug aus dem Hochsommer (19.8.68) zur Verfügung. Dieser Zeitpunkt kann nicht als optimal bezeichnet werden. Solche Aufnahmen sollten eher im Frühjahr, Herbst oder gar Winter gemacht werden.

Hingegen lagen Luftbild-Serien in 3 verschiedenen Massstäben vor, die unter genau gleichen Bedingungen geflogen worden waren. Die Untersuchungen wurden darum immer am gleichen Objekt und unter entsprechenden Voraussetzungen für die 3 Massstäbe getrennt vorgenommen, sodass die Ergebnisse direkt miteinander verglichen werden können. Sie ergaben, dass für die Klassifikation landwirtschaftlicher Kulturen im Obst- und Gemüseanbaugebiet des Wallis ein Massstab von 1 : 15'000 bis 1 : 20'000 noch absolut zuverlässige Resultate liefert.



## Literaturverzeichnis

Abkürzungen : PE = Photogrammetric Engineering  
BuL = Bildmessung und Luftbild

- ABC der Optik, 1961, von Mütze, K., Foitzik, L., Krug, W. und Schreiber, G.; Hanau/Main
- Akça, A., 1970, Eine Untersuchung zur Unterscheidung und Identifizierung einiger Objekte auf Schwarzweiss-Luftbildern durch quantitative Beschreibung der photographischen Textur. Diss. Univ. Freiburg i. B.
- Aleksew, V. A. und Belov, S. V., 1960, Spektralnaja otrazhatelnaja sposobnost drevesnykh porod; drugikh obektov aerofotosemski Zapadnoj Ukrainy. (Das spektrale Reflexionsvermögen von Baumarten und anderen im Luftbild sichtbaren Objekten der westlichen Ukraine). Trudy Lab. Aeromet. Akad. Nauk. SSR Moskau - Leningrad, Nr. 10, S. 105-122.
- Aschenbrenner, C. M., 1950, High Altitude Stereo Techniques. PE 16(5), S. 712-721
- Backström, H., Welander, E., 1953, Eine Untersuchung des Rückstrahlungsvermögens von Blatt und Nadel verschiedener Holzarten. Norrlands Skogsvardsförbunds Tidskrift, Nr. 3, Stockholm
- Baumberger, K., 1969, Klassifikation von landwirtschaftlichen Kulturen auf Farb- und Schwarzweiss-Luftbildern mit Hilfe von Densitometermessungen und Computer. Diss. Univ. Zürich.
- Brock, G. C., 1952, Physical Aspects of Air Photography, London
- Colwell, R. N., 1961, Some practical Applications of Multiband Spectral Reconnaissance, American Scientist, Bd. 49
- Corten, Jr. Fr. L., 1966, Physik des Luftbildes in "richtigen" und "falschen" Farben. BuL (4)
- Dietze, G., 1957, Einführung in die Optik der Atmosphäre, Leipzig
- Doverspike, G. E., Flynn, F. M. und Heller, R. C. 1965, Mikrodensitometer applied to Land Use Classification. PE S. 294-306
- Duddek, M., 1967, Practical Experiences with Aerial Color Photography, PE S. 1117-1125
- Eidg. Landestopographie, 1968, Atlas der Schweiz, Bodenkunde
- Eidg. Statistisches Amt, 1966, Der Schweizerische Obstbaumbestand 1961, Stat. Quellenwerke der Schweiz, Heft 377, Reihe Ck 3, Bern
- Eidg. Statistisches Amt, 1967, Bodenbenutzung 1965, Stat. Quellenwerke der Schweiz, Heft 416, Reihe D 2, Bern
- Erb, D. K., 1967, The Identification of Fruit Trees by Aerial photograph Analysis and Interpretation for Census Purposes, in Proceedings of the 2nd Seminar of Air Photo Interpretation in the Development of Canada
- Fischer, R. A., 1936, The Use of multiple Measurements in taxonomic Problems, Annals of Eugenics 7, S. 179-188
- Frieser, H., 1959, Besondere photographische Bedingungen der Luftaufnahmen, Münchner fotogr. Wochen, Vortrag Nr. 3
- Gierloff-Emden, H. G., Schroeder-Lanz, H., 1970, Luftbildauswertung, B.I. Hochschul TB, Mannheim
- Goodale, E. R., 1953, An Equation for Approximating the Vertical Exaggeration Ratio of a Stereoscopic View, PE.
- Haefner, H., 1963, Vegetation und Wirtschaft der oberen subalpinen und alpinen Stufe im Luftbild, dargestellt am Beispiel des Dischmatales und weiteren Tälern der Landschaft Davos, Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Bad Godesberg
- Haefner, H., 1966, Neue Verfahren der Lufterkundung und ihre Anwendungsmöglichkeiten, Erdkunde
- Handbuch der Physik, 1957, Band 48, Geophysik, Springer
- Herrmann, R., 1947, Integrierende Strahlungsmessungen mit Hilfe von Monochromatoren, Optik Bd. 2 S. 384-395
- Heynacher, E., Köber, F., 1964, Auflösungsvermögen und Kontrastwiedergabe, ZEISS-Information, Jg. 51
- Hilborn, 1967, Photointerpretation at the University Level in Canada
- Höfert, H. J., 1957, X, Y, Z im Reich der Farben, ZEISS-Werkzeitschrift Nr 24

- Hunkeler, K., Grubinger, H., Tanner, E., 1970, Landwirtschaftliches Meliorationswesen, Bern
- Jensen, Ch. E., 1948, Dot-Type Scale for measuring Tree-Crown Diameters on aerial photographs, aus Station Notes der Central States Forest Experiment Station, Columbus, Ohio
- Joyce, Loeb and Co. Ltd., 1963, Instruction Manual for Automatic Recording Microdensitometer Modell MK III CS, Joyce Loeb and Co. Ltd., Gateshead, England
- Jones, L. A., Condit, H. R., 1948, Sunlight and Skylight as Determinants of photographic Exposure, Journal of the Optical Society of America, Bd. 38, S. 123-178
- Kazmierczak, H., 1967, Das Karlsruher-System zur automatischen Photointerpretation, Institut für Nachrichtenverarbeitung und -übertragung der Techn. Hochschule Karlsruhe, Techn. Bericht AZ 1
- Kilchenmann, A., 1965, Klassifikation von landwirtschaftlichen Kulturen auf Farb- und "False Color"-Luftbildern mit Hilfe von Densitometermessungen und Computer, Semesterarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich
- Kodak Wratten Filters for Scientific and Technical Use, 1957, Kodak Publication Nr. B-3
- Kurth, A., Rhody, B., 1962, Die Anwendung des Luftbildes im schweizerischen Forstwesen, Mitt. d. schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen
- Landgrebe, D. A., 1967, Automatic Identification and Classification of Wheat by Remote Sensing, LARS Information Note 21567, 7pp, Purdue University, Lafayette, Indiana
- Langly, P. G., 1965, Automatic Aerial Photointerpretation in Forestry, Proc. Soc. Amer. For. S. 172-177
- Linder, A., 1961, Statistische Methoden, Basel
- Loof, ZEISS-Mitteilungen : Farbe und Forschung
- Lowe, D. S., Braithwaite, J. G. N., 1966, A Spectrum Matching Technique for Enhancing Image Contrast Applied Optics, Bd. 5, S. 893-898
- Maag, H. U., Itten, K., 1970, Beeinflussung der Bildqualität durch den Dunst, Bericht an den Luftaufklärungsdienst Dübendorf, Geogr. Inst. Univ. Zürich
- Mahalanobis, P. C., Majumda, D. N., Rao, C. R., 1949, Anthropometric Survey of the United Provinces A Statistical Study, Sankhya, Calcutta 9, S. 89-324
- Manual of Color Aerial Photography, 1968, S. 300, S. 444, American Society of Photogrammetry
- Mark, R. P., 1963, Die Kontrastübertragungstheorie in der Photogrammetrie, Vermessungstechnik DDR II, S. 423-428
- Mason, B., 1953, The Hotspot in wide-angle Photographs, PE S. 619-625
- Maurer, H., 1965, Untersuchungen zur Unterscheidbarkeit landwirtschaftlicher Kulturen im farbigen Luftbild, Diss. Univ. Zürich
- Maurer, H., 1971, Measurement of Textures of Crop Fields with the ZEISS-Scanning-Microscope-Photometer O 5; Proceedings of the 7th international Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan
- Meienberg, P., 1966, Die Landnutzungskartierung nach Pan-, Infrarot- und Farbluftbildern, Münchner Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie, Lasseben, Kallmünz/Regensburg
- Meier, H. K., 1967, Farbtreue Luftbilder, BuL (5), S. 206-214
- Nakajima, I., Hasegawa, K., 1962, A Study on photo density measurements of some forest types, Bulletin of the Government Forest Experiment Station, Nr. 141, S. 31-49, Tokio
- Pearce, R. S., 1968, Isodensitracer, Paper, 2nd ISP-Congress, Lausanne
- Rib, H., Miles, D., 1969, Automatic Interpretation of Terrain Features, PE S. 153-164
- Rösch, S., 1969, Farbe und Farbphotographie als Forschungshilfsmittel, BuL (3)
- Rosenfeld, A., 1962/a, An Approach to Automatic Photographic Interpretation, PE, S. 660-665
- Rosenfeld, A., 1962/b, Automatic Recognition of Basic Terrain Types from aerial Photographs PE, S. 115-132
- Rosenfeld, A., 1965, Automatic Imagery Interpretation, PE, S. 240-242
- Rosetti, Ch., 1967, Compte rendu de missions sur l'étude des images photographiques aériennes à grande échelle de diverses formations végétales, Centre National de la Recherche Scientifique, Montpellier

- Rosetti, Ch., Kowaliski, P., Havé, N., 1967, Relations entre les caractéristiques de réflexion spectrale de quelques espèces végétales et leurs images sur des photographies en couleur, terrestres et aériennes, *Int. Arch. Photogrammetry*, Vol. 16, Paris
- Sayn-Wittgenstein, L., 1961, Phenologic Aids to Species Identification on air Photographs, Forest Research Branch, Technical Note No. 104, Dept. of Forestry, Ottawa
- Sayn-Wittgenstein, L., 1967, Recognition of Tree Species on Air Photographs by Crown Characteristics PE, S. 792-809
- Schwarz, H. R., 1966, Denkende Maschinen, *NZZ*, 17. 3. 66
- Schweissthal, R., 1967, Grundlagen, Bearbeitung und Herstellung grossmassstäbiger Luftbildkarten, *Wiss. Arb. d. Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie der T.H. Hannover*, Nr. 34
- Schweiz. Bauernsekretariat, 1968, Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, Brugg
- Schwidefsky, K., 1960, Ueber die bei Luftaufnahmen wirksame Beleuchtung, *BuL* (28, 46... 62)
- Schwidefsky, K., 1963, Grundriss der Photogrammetrie, Teubner, Stuttgart
- Steinbuch, K., 1965, Automat und Mensch, Berlin, Heidelberg, New York
- Steiner, D., 1961, Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation, *Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum*, Bad Godesberg
- Steiner, D., 1962, Zur Technik und Methodik der Landnutzungsinterpretation von Luftbildern, *Berichte zur deutschen Landeskunde*, Bd. 29
- Steiner, D., Haefner, H., 1965, Tone Distortion for automated Interpretation, *PE* (31), S. 269-280
- Steiner, D., Maurer, H., 1966, Toward a quantitative semi-automatic System for the Photo-Interpretation of terrain cover types, aus II<sup>e</sup> Symposium internationale de photo-interpretation, Paris
- Steiner, D., Maurer, H., 1968, Development of quantitative semi-automatic Systems for the Photo-Interpretation of terrain cover types, *Transactions of the 2nd Canadian Symposium on Photo Interpretation*, Ottawa
- Steiner, D., Maurer, H., 1969, The Use of Stereo Height as a discrimination Variable for Crop Classification on Aerial Photographs, *Photogrammetria*, 24
- Steiner, D., Maurer, H., Kilchenmann, A., 1966, Quantitative Auswertung von Farbluftbildern zur Identifizierung landwirtschaftlicher Kulturen, *BuL* (2)
- Swanson, L. W., 1960, Photogrammetric Surveys for nautical charting use of color and infrared Photography, *PE*, S. 137-141
- Tarkington, R. G. 1953, An Aspect of Color Photography and Interpretation, *PE*, S. 418-420
- Tarkington, R. G. Sorem, A. L., 1963, Color and False Color Films for Aerial Photography, *PE*. Vol 29 S. 88-95
- Weber, E., 1967, Grundriss der biologischen Statistik, Stuttgart
- Welch Scientific Company, 1965, Welch Densichron Operation Manual and maintenance Instructions for Transmission Light Sources, Catalogue No 3853, Series 700.82
- Wempe, 1947, ABC der Optik
- Wild, Heerbrugg, 1963, Spiegelstereoskop ST 4, Gebrauchsanweisung, P2 307d
- Yost, E. F., Wendroth, S., 1967, Multispectral Color Aerial Photography, *PE*, Bd. 33, Nr. 9
- ZEISS-Taschenbuch
- Zsilinszky, V. G., 1963, Photographic Interpretation of Tree Species in Ontario, Ontario Dept. of Lands and Forests, Timber Branch
- Zsilinszky, V. G., 1964, The Practice of Photo Interpretation for a Forest Inventory, *Photogrammetria* Vol. 19, No. 5, S. 192-208



# Verzeichnis der Abbildungen

|                                                                                                                                       | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Fig. 1 Untersuchungsgebiet im Mittelwallis mit Flugstreifen                                                                           | 11    |
| Fig. 2 Profil durch ein glaziales Trogtal                                                                                             | 14    |
| Fig. 3 Obstbaumbestände von Talbodengemeinden im Unterwallis                                                                          | 14    |
| Fig. 4 Landnutzungskartierung zwischen Riddes und Saxon                                                                               | 17    |
| Fig. 5 "Remote Sensors" für das elektromagnetische Spektrum                                                                           | 20    |
| Fig. 6 Informationsbeeinflussende Faktoren                                                                                            | 23    |
| Fig. 7 Energiefluss bei farbigen Luftaufnahmen                                                                                        | 24    |
| Fig. 8 Die relative Spektralverteilung der Global-, Himmels- und der Sonnenstrahlung                                                  | 24    |
| Fig. 9 Baumbeleuchtung in reliefiertem Gelände                                                                                        | 25    |
| Fig. 10 Die atmosphärische Extinktion im sichtbaren Strahlungsbereich                                                                 | 26    |
| Fig. 11 Die zentralperspektivische Abbildung einseitig beleuchteter Geländeobjekte                                                    | 26    |
| Fig. 12 Remissionskurven einiger Früchte und Gemüse im sichtbaren- und Infraroten Bereich                                             | 27    |
| Fig. 13 Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion von Reflexions- und Objektivcharakteristik                    | 29    |
| Fig. 14 Relative Beleuchtung in der Negativebene für 15 cm Aviogon, $f = 5, 6$                                                        | 29    |
| Fig. 15 Relative Beleuchtung in der Negativebene für 15 cm Aviogon, $f = 8$                                                           | 30    |
| Fig. 16 Unterschiedliche Helligkeiten infolge des Zusammenspiels von zentralperspektivischer Abbildung und Schlagschatten             | 30    |
| Fig. 17 Licht- und Schattenpunkte im Senkrecht-Luftbild                                                                               | 31    |
| Fig. 18 Empfindlichkeitskurven für Schwarzweiss-Filme                                                                                 | 31    |
| Fig. 19 Gesichtsempfindung und Farbeempfindung                                                                                        | 32    |
| Fig. 20 CIE - Farbtafel nach DIN 5033                                                                                                 | 33    |
| Fig. 21a Empfindlichkeitskurven des Kodak Farbfilms                                                                                   | 35    |
| Fig. 21b Empfindlichkeitskurven des Kodak Falschfarbfilms                                                                             | 35    |
| Fig. 22a Raleigh-Streuung für zwei Wellenlängen und verschiedene Sonnenstände                                                         | 37    |
| Fig. 22b Mie-Streuung für den Teilchen-Radius $0,12 \mu\text{m}$ , zwei Wellenlängen und verschiedene Sonnenstände                    | 37    |
| Fig. 22c Lichtverteilung in einem Luftbild nach Densitometer-Messungen sowie Lichtabfall des Aufnahme-Objektivs                       | 37    |
| Fig. 23 Schwärzungskurve                                                                                                              | 38    |
| Fig. 24 Reliefbedingtes Aufrichten bzw. Umklappen von Bäumen im Stereomodell                                                          | 41    |
| Fig. 25 Mikrophotometrische Messungen an Feinstrukturen im Pan- und Infrarot-Film                                                     | 44    |
| Fig. 26 Mikrodensitometer-Aufzeichnungen photographischer Texturen                                                                    | 45    |
| Fig. 27 Kronengrössen und Pflanzabstände verschiedener Obstbäume                                                                      | 46    |
| Fig. 28 Hinweise zur Identifizierung und Interpretation von Holzarten auf grossmassstäbigen Luftbildern                               | 47    |
| Fig. 29a Kronendurchmesser-Bestimmung mit der Winkelmessungs-Methode                                                                  | 48    |
| Fig. 29b Kronendurchmesser-Bestimmung mit der Kreisvergleichs-Methode                                                                 | 48    |
| Fig. 30 Die Abhängigkeit der Stereoschwelle vom Massstab                                                                              | 50    |
| Fig. 31 Densichron-Densitometer der Firma Welch Scientific Company                                                                    | 51    |
| Fig. 32 Messskala des Densichron-Photometers                                                                                          | 52    |
| Fig. 33 Schematische Darstellung des optischen Weges beim Densichron-Densitometer                                                     | 53    |
| Fig. 34 Mittlere Dichtewerte für verschiedene Kulturen und für verschiedene Filme und Filter                                          | 55    |
| Fig. 35 Schematische Darstellung der Blendenöffnung                                                                                   | 56    |
| Fig. 36 Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte für verschiedene Kulturen                                                               | 57    |
| Fig. 37 Dichteumfang verschiedener Kulturen für verschiedene Filme, Filter und Massstäbe                                              | 58    |
| Fig. 38 Variationsbereiche der Farbkomponenten (in%) verschiedener Kulturen des FF im Massstab 1 : 5'000                              | 59    |
| Fig. 39 Variationsbereiche der Farbkomponenten (in%) verschiedener Kulturen des FF im Massstab 1 : 25'000                             | 60    |
| Fig. 40 Verteilung der Messwerte der drei Merkmale "Rot", "Grün" und "Blau" in den beiden Gesamtheiten Aepfel und Aprikosen           | 66    |
| Fig. 41 Verteilung der Rechenmasse X der beiden Gesamtheiten Aepfel und Aprikosen                                                     | 66    |
| Fig. 42 Computer-Output der Diskriminanzanalyse für Farbfilm, Massstab 1 : 12'000, Rotfilter, Beispiel Aepfel (1 = richtig klassiert) | 68    |
| Fig. 43 Zusammenstellung der Erfolgsraten für Farbfilm, Massstab 1 : 12'000 Rotfilter                                                 | 69    |
| Fig. 44 Erfolgsraten der vier Filme NFF, FFF, IRF, PF                                                                                 | 69    |
| Fig. 45 Interpretationsstufen (1 - 5) der untersuchten Obst-, Gemüse- und Rebbaulandschaft                                            | 70    |



|         |                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 46 | Erfolgsraten der Interpretationsstufe 1 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000                                                                                             | 71  |
| Fig. 47 | Erfolgsraten der Interpretationsstufe 2 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000                                                                                             | 73  |
| Fig. 48 | Erfolgsraten der Interpretationsstufe 3 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000                                                                                             | 74  |
| Fig. 49 | Erfolgsraten der Interpretationsstufe 4 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000                                                                                             | 75  |
| Fig. 50 | Erfolgsraten der Interpretationsstufe 5 für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000                                                                                             | 77  |
| Fig. 51 | Vergleich der Erfolgsraten der Densitometermessungen für verschiedene Filmfilter-Kombinationen im Massstab 1 : 5'000 bei einer Blendenöffnung von 3mm und 1mm                                       | 78  |
| Fig. 52 | Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometermessungen für verschiedene Kulturen und verschiedene Filmfilter-Kombinationen in den drei Massstäben 1 : 5'000, 1 : 12'000 und 1 : 25'000         | 79  |
| Fig. 53 | Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometermessungen für die Interpretationsstufen 1 - 5 und verschiedene Filme in den drei Massstäben 1 : 5'000, 1 : 12'000 und 1 : 25'000                  | 80  |
| Fig. 54 | Spiegelstereoskop WILD ST 4 und Stereomikrometer                                                                                                                                                    | 82  |
| Fig. 55 | Erfolgsraten der Stereohöhenmessungen für die Interpretationsstufen 0 - 5 im Massstab 1 : 5'000                                                                                                     | 83  |
| Fig. 56 | Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometer- und Stereohöhenmessungen für verschiedene Filmfilter-Kombinationen in den Interpretationsstufen 1 - 5 im Massstab 1 : 5'000                     | 84  |
| Fig. 57 | Zusammenstellung der Erfolgsraten der Densitometer- und Stereohöhenmessungen für die Interpretationsstufen 1 - 5 und verschiedene Filme in den drei Massstäben 1 : 5'000, 1 : 12'000 und 1 : 25'000 | 85  |
| Fig. 58 | Automatic Recording Microdensitometer MK III CS der Firma Joyce, Loeb                                                                                                                               | 87  |
| Fig. 59 | Schematische Darstellung der optischen Wege und des Servosystems beim Mikrodensitometer MK III CS der Firma Joyce, Loeb                                                                             | 88  |
| Fig. 60 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Spaltbreiten von 10 - 300 $\mu$ des gleichen Messprofils                                                                                         | 91  |
| Fig. 61 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Uebersetzungen (1:5 , 1:20) des gleichen Messprofils                                                                                             | 92  |
| Fig. 62 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Filtern (Rot, Blau) im Massstab 1 : 5'000 des gleichen Messprofils                                                                               | 93  |
| Fig. 63 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen mit verschiedenen Filtern (Rot, Blau) im Massstab 1 : 25'000 des gleichen Messprofils                                                                              | 93  |
| Fig. 64 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen des gleichen Messprofils auf FF und PF                                                                                                                             | 94  |
| Fig. 65 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Apfelbaumfeldes                                                                                                                                              | 96  |
| Fig. 66 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Birnbaumfeldes                                                                                                                                               | 98  |
| Fig. 67 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Aprikosenfeldes                                                                                                                                              | 99  |
| Fig. 68 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Rebenfeldes                                                                                                                                                  | 100 |
| Fig. 69 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Tomatenfeldes                                                                                                                                                | 101 |
| Fig. 70 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Carottenfeldes                                                                                                                                               | 102 |
| Fig. 71 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Kohlfeldes                                                                                                                                                   | 103 |
| Fig. 72 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen eines Zwiebelfeldes                                                                                                                                                | 103 |
| Fig. 73 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 5'000                                                                                                | 106 |
| Fig. 74 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 5'000                                                                                                | 106 |
| Fig. 75 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 12'000                                                                                               | 107 |
| Fig. 76 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 12'000                                                                                               | 107 |
| Fig. 77 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 25'000                                                                                               | 108 |
| Fig. 78 | Mikrodensitometer-Aufzeichnungen verschiedener nebeneinanderliegender Kulturen im Massstab 1 : 25'000                                                                                               | 108 |



ANHANG :     B I L D T E I L

Farbreproduktionen erscheinen voraussichtlich Anfang 1974 in der Zeitschrift  
"Bild der Wissenschaft / X-Magazin" und können dann Interessenten auf Wunsch  
zur Verfügung gestellt werden.

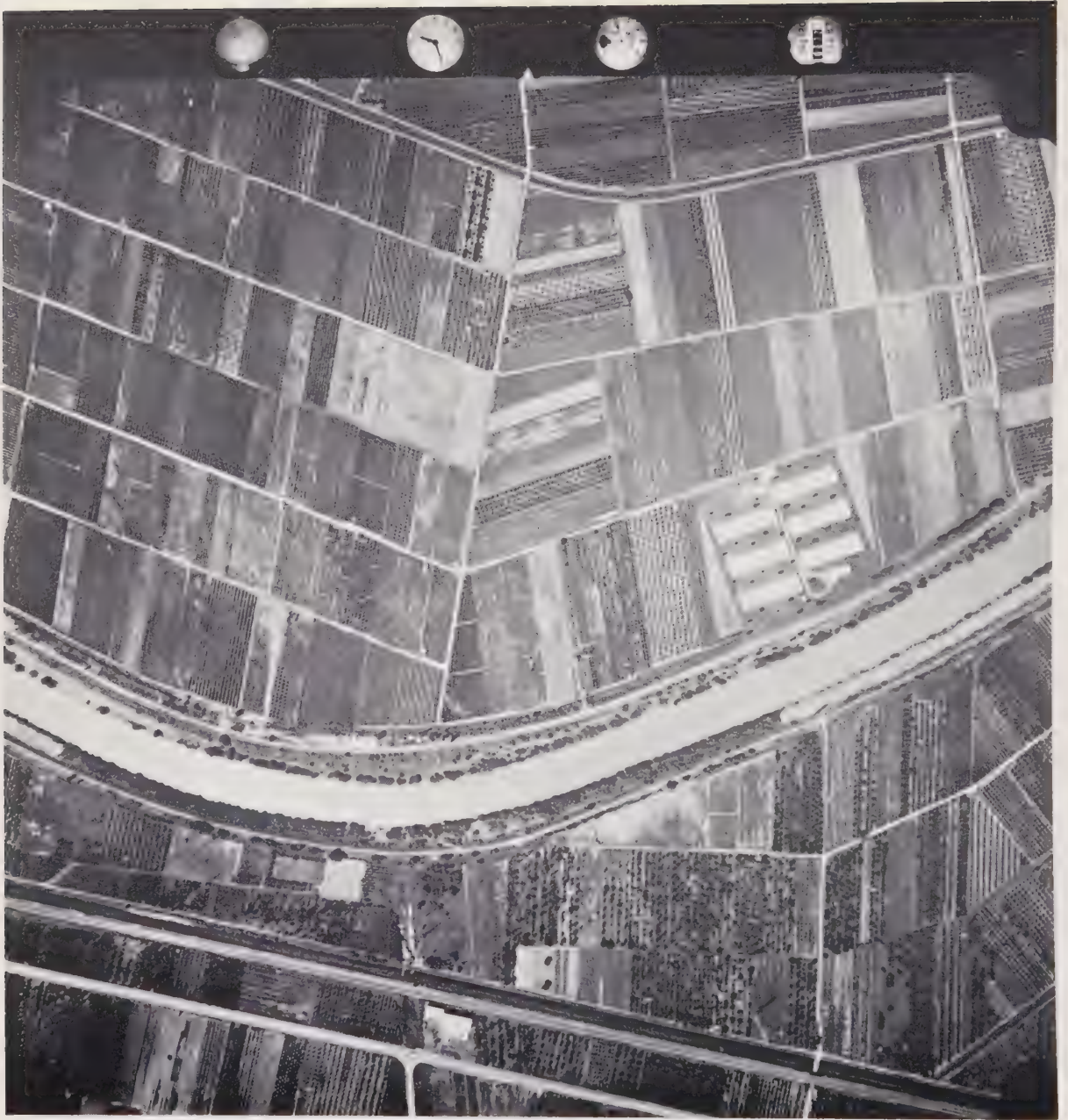


Abb. 1 : Luftaufnahme der Obst- und Gartenbaulandschaft im Wallis zwischen Saxon (lk.) und Riddes (rt.)

M ca 1 : 5000    Höhe ü G 734 m    Aufnahmedatum 19.8.68



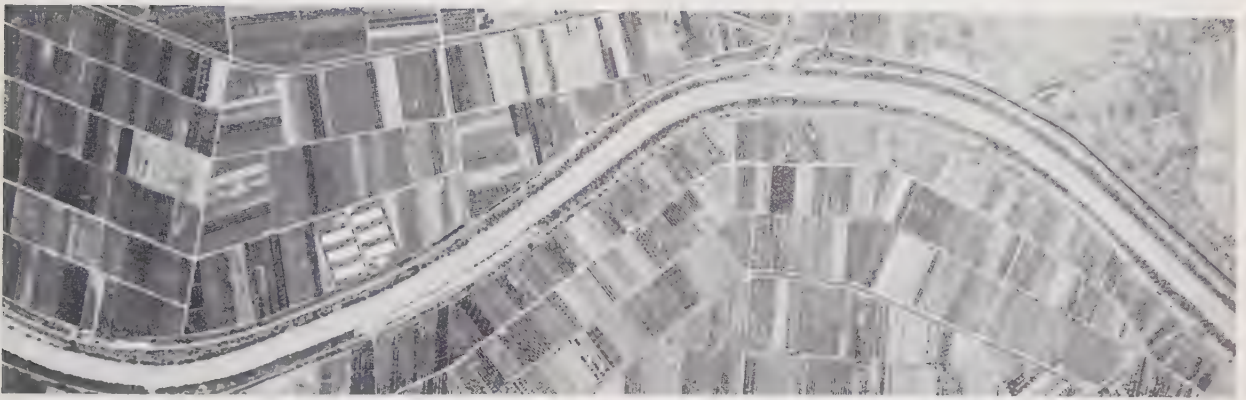


Abb. 2-4 : Ausschnitte aus Luftaufnahmen der Obst- und Gartenbaulandschaft  
zwischen Saxon (lk.) und Riddes (rt.)

|       |   |                |                 |               |         |
|-------|---|----------------|-----------------|---------------|---------|
| oben  | : | M ca 1 : 5000  | Höhe ü G 734 m  | Aufnahmedatum | 19.8.68 |
| mitte | : | M ca 1 : 12000 | Höhe ü G 1754 m | Aufnahmedatum | 19.8.68 |
| unten | : | M ca 1 : 25000 | Höhe ü G 3799 m | Aufnahmedatum | 19.8.68 |





Abb. 5 : Kernobstfelder (Aepfel und Birnen) M ca 1 : 5000



Abb. 6 : Rebparzellen  
M ca 1 : 5000

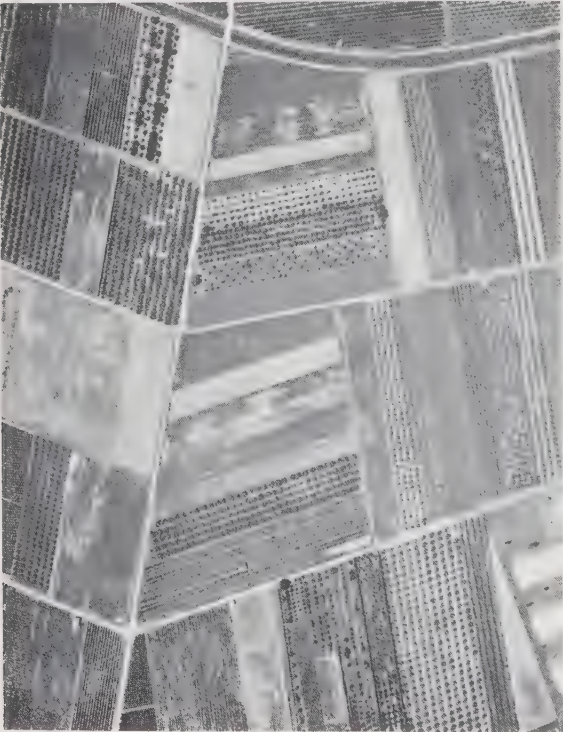


Abb. 7 : Gemüsefelder (helle Streifen : Zwiebeln, dunkle Streifen ohne Textur : Carotten)  
M ca 1 : 5000



Abb. 8 : Aprikosenhaine am Hang (nach lk. ansteigend) oberhalb Saxon M ca 1 : 5000





Abb. 9-14 : Verschiedene Baumformen beim Kernobst (Äpfel / Birnen)  
(Beschreibung siehe S. 16)





Abb. 15/16 : Aprikosenbäume



Abb. 17 : Schrägaufnahme des Untersuchungsgebietes in der



Abb. 18 - 20 : Reben



## Lebenslauf

von Jürg Rainer Schoedler, geboren am 29. September, 1941 in Schaffhausen, Bürger von Schaffhausen und Villigen (AG).

Die Primarschule besuchte ich in Schaffhausen und in Perlen (LU). 1955 begann meine Kantons-schulzeit in Luzern, die ich 1962 mit der Matura Typ B abschloss.

Im folgenden Winter immatrikulierte ich mich an der Universität Zürich. Während drei Seme- stern, unterbrochen von verschiedenen Militärdienstleistungen, hörte ich v.a. Vorlesungen an der Medizinischen Fakultät, wechselte dann aber an die Philosophische Fakultät II und begann mein eigentliches Geographiestudium.

Ich wählte folgende Fächerkombination: Geographie (Hauptfach), Nationalökonomie (1. Nebenfach), Geologie (2. Nebenfach) und Mathematik (Propädeutisches Fach). Seit 1968 arbeitete ich unter Leitung von Prof. Dr. H. Haefner an meiner Dissertation.

Nach mehreren Hilfslehrerstellen an der Oberrealschule Zürich, der Töchterschule der Stadt Zürich, der Kantonalen Handelsschule Freudenberg und der Kantonsschule Wetzikon, bin ich seit Herbst 1970 am Seminar und am Töchtergymnasium der Stadt Luzern im Lehrauftrag tätig.

Vorlesungen und Uebungen besuchte ich bei folgenden Dozenten:

|                        |                                                                                                                 |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geographie:            | Andresen, Boesch, Furrer, Gensler, Gutersohn, Guyan, Haefner, Henking, Schüepp, Spiess, Steiner, Suter, Winkler |
| National-<br>ökonomie: | Bauknecht, Bickel, Büchner, Hauser, Küenzi, Niehans, Schelbert-Syfrig                                           |
| Geologie:              | Dal Vesco, Gansser, Jäckli, Trümpy                                                                              |
| Mathematik:            | van der Waerden                                                                                                 |
| Physik:                | Brun, Meyer                                                                                                     |
| Chemie:                | Schmid, Schumacher, Viscontini                                                                                  |
| Botanik:               | Leupold, Rutishauser, Wanner                                                                                    |
| Zoologie:              | Hadorn, Tardent                                                                                                 |
| Didaktik:              | Nigg, Widmer, Woodtli                                                                                           |





DE